

การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเกิดแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น
โดยเทคโนโลยีการรักษาสภาพชีวม้าทิ้ง

นางสาวเจนจิรา ภูริรักษ์พิติก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

REDUCTION OF ELECTRICITY CONSUMPTION AND GREENHOUSE GASES
GENERATION IN PRODUCTION PROCESS OF CONCENTRATED LATEX BY
SERUM WASTE PRESERVATION TECHNOLOGY

MISS JENJIRA PHURIRAGPITIKHON

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเกิดแก๊สเรือนกระจก ในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นโดยเทคโนโลยีการรักษา สภาพซีรัมน้ำทิ้ง
โดย	นางสาวเจนจิรา ภูริรักษ์พิติกร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เชื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณนะเดช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ประเสริฐ ตปนียางกูร)

เจนจิรา ภูริรักษ์พิติกร: การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเกิดแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยเทคโนโลยีการรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้ง. (Reduction of Electricity Consumption and Greenhouse Gases Generation in Production Process of Concentrated Latex by Serum Waste Preservation Technology) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 101 หน้า.

ซีรัมน้ำทิ้งเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการสกิมของโรงงานผลิตน้ำยางข้น ซึ่งเป็นแหล่งน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีมากที่สุด มีผลให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการเติมอากาศเพื่อลดค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวมภายในโรงงานมากขึ้น ขณะเดียวกันซีรัมน้ำทิ้งดังกล่าวยังสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืชได้ แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์เนื่องจากเสียสภาพได้ในเวลาอันสั้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในซีรัมน้ำทิ้งเหล่านั้น ดังนั้นเทคโนโลยีการรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งด้วยสารกันบูดจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจและยังนำไปสู่การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเกิดแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นได้เป็นอย่างดี จึงวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำ 3 ซ้ำ มี 10 ตำรับทดลอง ประกอบด้วยการเติมสารกันบูด 3 ชนิด ชนิดละ 3 ระดับ ความเข้มข้น และซีรัมน้ำทิ้งที่ไม่เติมสิ่งทดลอง โดยหนึ่งหน่วยการทดลอง คือ ขวดพลาสติกประเภท High Density Polyethylene (HDPE) ขนาด 1000 ซีซี อีกทั้งทำการตรวจวัดปริมาณแก๊สเรือนกระจกจากซีรัมน้ำทิ้งโดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared (FT-IR)

ผลการศึกษา พบว่า สารกันบูดที่รักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งได้ดีที่สุด คือ โฟแทสเซียมซอร์เบทที่ระดับความเข้มข้น 0.20% สามารถรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งได้ยาวนานถึง 30 วัน โดยที่ยังคงรักษาปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ของพืชภายในซีรัมน้ำทิ้งไว้ได้ และมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในซีรัมน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งสมบัติทางเคมีของซีรัมน้ำทิ้งภายหลังการรักษาสภาพ (pH = 7.50) อยู่ในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืช สำหรับค่าการนำไฟฟ้า พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติกับซีรัมน้ำทิ้งที่ไม่ได้เติมสารกันบูด ทั้งนี้หากมีการบริหารจัดการโดยแยกซีรัมน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงาน ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟาลดลง 23.49 – 42.55 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร และลดการเกิดแก๊สมีเทนขณะที่มีกระบวนการสกิมได้ถึง 4.76 มิลลิกรัมต่อลิตร

กล่าวได้ว่าการรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งด้วยสารกันบูดนั้น นอกจากจะสะดวกในการนำซีรัมน้ำทิ้งไปใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารแล้ว ยังลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเกิดแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นได้อีกด้วย

สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อ.....

ปีการศึกษา 2554..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5387512020 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORDS : LATEX SERUM/ CONCENTRATED LATEX / PRESERVATION
TECHNOLOGY

JENJIRA PHURIRAGPITIKHON: REDUCTION OF ELECTRICITY
CONSUMPTION AND GREENHOUSE GASES GENERATION IN
PRODUCTION PROCESS OF CONCENTRATED LATEX BY SERUM
WASTE PRESERVATION. ADVISOR: ASSOC. PROF. ORAWAN
SIRIRATPIRIYA, D.Sc., 101 pp.

Serum waste is a high BOD level effluent which be separated from skim process in the concentrated latex process. It leads to high electricity consumption for reduction of BOD level in the wastewater treatment system. In the other hand, serum waste can be utilized as the nutrient sources for plant but its utilization has major limitation because of rapid deterioration. Therefore preservation technology by preservative materials for prolongs storage which is the interesting choices resulted in reducing electricity consumption in the wastewater treatment and also reduces greenhouse gases in the concentrated latex process. Therefore, the experimental research in randomized complete block design (RCBD) was conducted with 3 replication and 10 treatments (control and serum waste mixed with three concentration levels of three preservative materials). The one research unit was 1000 cc of High Density Polyethylene (HDPE) plastic bottle. In addition, methane and nitrous oxides from serum waste were measured by Fourier Transform Infrared Spectrometric (FTIR) technique.

The results showed that the best preservative material for prolong storage of the serum waste was 0.20% potassium sorbate because of preservation for 30 days and maintain macronutrient content (N, P, K) in serum waste besides, increased potassium content significantly ($p \leq 0.05$). Moreover the pH was 7.50 suited for plant growth and electricity conductivity was not significant difference from without preservation. The management by draw away serum waste lead to reduction of electricity consumption in the wastewater treatment around 23.49 – 42.55 kWh/m³ and reduced methane generation about 4.76 mg/L.

In conclusion, preservation technology by preservative materials not only resulted in facilitated serum waste utilization as fertilizer, but also reduced the electricity consumption and green house gases generation in the concentrated latex process.

Field of Study: Energy Technology and Management Student's Signature

Academic Year: 2011..... Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณโครงการวิจัยเรื่อง “การจัดการของทิ้ง (Waste) จากอุตสาหกรรม การเกษตรเพื่อการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่การเกษตร” (CC720A) โครงการมหาวิทยาลัยวิจัย แห่งชาติ สนับสนุนงบประมาณโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา สถาบันวิจัยพลังงาน และ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนวิจัยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และแนวคิดต่างๆ รวมทั้ง โอกาสที่ดีทั้งในด้านการงานและการศึกษา จนมีผลทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี

กราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เชื้ออาภรณ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวลัย วิวรรณะเดช และดร.ประเสริฐ ตปนียางกูร ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เสียสละเวลาร่วมเป็น คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางต่างๆ เพื่อให้ วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณ คุณอนุชิต จิโรจโชติชัย กรรมการผู้จัดการบริษัท อินเตอร์รับเบอร์ ลาเท็กซ์ จำกัด รวมทั้งขอขอบคุณพนักงานของบริษัทอินเตอร์รับเบอร์ ลาเท็กซ์ และเอนไวน์แลป แอนคอนซัลแตนต์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ที่พัก พื้นที่การวิจัย พื้นที่ ทำงาน การอำนวยความสะดวกต่างๆ เป็นอย่างดียิ่งระหว่างการทำงานปฏิบัติงานในพื้นที่วิจัย

กราบขอบพระคุณ ดร. ทวี คุปต์กาญจนากุล ที่กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำเกี่ยวกับ เทคนิคการเก็บตัวอย่าง และคุณวลีพร ศรีเพ็ญประภา และเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

กราบขอขอบพระคุณคณาจารย์ในหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านให้ความรู้ที่สามารถนำไปต่อยอดในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นอย่างดี

ขอบพระคุณ คุณสุวรรณรัตน์ สิมหลวง เจ้าหน้าที่ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการ พลังงานที่อำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานในระหว่างการศึกษาเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณสมาชิกครอบครัวภูริรักษ์พิติกรทุกท่าน และนายศิริวัฒน์ ธนไมตรีจิตต์ ที่คอยส่งเสริม ช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และให้คำปรึกษาที่ดี ตลอดจนคอยสนับสนุน จนการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้เป็นอย่างดี

ตลอดจนคุณอันไคที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ขอบมอบแต่คุณพ่อ คุณแม่ ผู้เป็นที่รักยิ่งสืบไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การใช้พลังงานของประเทศไทย.....	6
2.2 แก๊สเรือนกระจก.....	19
2.3 อุตสาหกรรมยางในประเทศไทย.....	25
2.4 การผลิตน้ำยางชั้น.....	31
2.5 การเสื่อมสภาพและการรักษาสภาพของสารอินทรีย์.....	40
2.6 สารกันบูด.....	43
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	48
3.1 สถานที่ดำเนินการศึกษาวิจัย.....	48
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	48
3.3 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย.....	51
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	54
4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบกำจัดของทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น.....	55
4.2 การรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งที่เกิดในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น.....	64
4.3 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นโดยเทคโนโลยี การรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้ง.....	71
4.4 การเกิดแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น.....	79
บทที่ 5 ข้อเสนอแนะ.....	81
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	81

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก.....	90
ภาคผนวก ข.....	92
ภาคผนวก ค.....	97
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	101

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นสุดท้ายในปี 2549-2553.....	7
2.2 การใช้พลังงานในแต่ละภาคอุตสาหกรรมในปี 2549.....	10
2.3 ศักยภาพในการทำให้ภาวะโลกร้อนของแก๊สเรือนกระจกที่ปล่อยจากกิจกรรมของ มนุษย์รวมถึงสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแต่ละชนิด.....	22
2.4 การผลิต การส่งออกยางธรรมชาติของประเทศไทย ปี 2548-2552.....	26
2.5 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในแต่ละกลุ่มย่อยของอุตสาหกรรมยาง	30
2.6 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	31
2.7 สัดส่วนของประเภทพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางขั้น.....	34
2.8 สมบัติของน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ.....	35
2.9 ปริมาณธาตุอาหารในซีรัมน้ำทิ้ง.....	38
2.10 องค์ประกอบทางเคมีของซีรัมน้ำทิ้ง.....	39
2.11 ธาตุอาหารในซีรัมน้ำทิ้ง.....	39
3.1 ตำรับการทดลองในการศึกษาวิจัยการเติมสารกันบูดในซีรัมน้ำทิ้ง.....	51
3.2 พารามิเตอร์ที่ศึกษาวิจัยและวิธีการวิเคราะห์ซีรัมน้ำทิ้ง.....	52
4.1 กำลังการผลิต ปริมาณน้ำทิ้ง ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวม ปริมาณบีโอดีของน้ำทิ้งรวม (BOD Load) และพลังงานไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานในรอบปี 2553 - 2554.....	56
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัด น้ำทิ้งและ BOD load ในรูปแบบของ S-curve.....	58
4.3 ปริมาณซีรัมน้ำทิ้ง ค่าบีโอดีของซีรัมน้ำทิ้ง ค่าบีโอดีน้ำทิ้งรวม ปริมาณบีโอดีของ ซีรัมน้ำทิ้งรวมทั้งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดจากการพยากรณ์ด้วยสมการ.....	59
4.4 ค่าบีโอดีของซีรัมน้ำทิ้ง สัดส่วนปริมาณซีรัมน้ำทิ้งต่อเดือน ปริมาณซีรัมน้ำทิ้ง BOD load ของซีรัมน้ำทิ้ง BOD load ของน้ำทิ้งรวมทั้ง สัดส่วนปริมาณบีโอดีของ ซีรัมน้ำทิ้งต่อน้ำทิ้งรวม และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงในระบบบำบัดน้ำทิ้งต่อเดือน	63

ตารางที่	หน้า
4.5 ค่าความเป็นกรดต่างและค่าการนำไฟฟ้าของซีรุ่มน้ำทิ้ง.....	65
4.6 ปริมาณธาตุอาหารหลักของพีซีในซีรุ่มน้ำทิ้ง.....	67
4.7 ลักษณะของซีรุ่มน้ำทิ้งแต่ละตำรับทดลองเมื่อผ่านไป 6, 12 และ 30 วัน.....	69
4.8 พลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการของปุ๋ยสังเคราะห์แต่ละประเภท.....	74
4.9 ปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีในน้ำทิ้งต่อเดือน (N, P, K) พลังงานในกระบวนการผลิตแม่ปุ๋ย และพลังงานที่ทดแทนได้จากการนำซีรุ่มน้ำทิ้งมาใช้เป็นปุ๋ยเคมี....	75
4.10 BOD load ของซีรุ่มน้ำทิ้งและน้ำทิ้งรวม.....	76
4.11 อัตราการเกิดแก๊สมีเทนจากซีรุ่มน้ำทิ้งในช่วงเวลาที่มีกระบวนการสกิมและไม่มีกระบวนการสกิม.....	80

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	สัดส่วนการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามภาคเศรษฐกิจ ปี 2010.....	6
2.2	การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น ปี 2554	8
2.3	มูลค่าการนำเข้าพลังงาน ปี 2554.....	9
2.4	สัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศตามกิจกรรมต่างๆ ปี 2004 ในหน่วยเทียบเท่าของคาร์บอนไดออกไซด์.....	20
2.5	ความเข้มข้นของแก๊สเรือนกระจก (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) ในชั้นบรรยากาศในปี ค.ศ. 1000-2000.....	21
2.6	กลไกการเกิดแก๊สมีเทนในสภาวะไร้อากาศ.....	24
2.7	สัดส่วนการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติในประเทศไทย.....	28
2.8	กระบวนการผลิตน้ำยางขึ้น.....	33
3.1	หลอดดูดยาประเภทแก้ว ขนาด 20 ซีซี.....	48
3.2	หลอดแก้วสุญญากาศขนาด 13 ซีซีและเข็มสองปลาย.....	49
3.3	Fourier transform Infrared spectrometer (FT-IR) ของ Gasetmet รุ่น DX4015	50
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งและ BOD load ของ น้ำทิ้งรวมในระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบบ่อฝุ้งเติมอากาศ.....	57
4.2	ตัวอย่างการประเมินพื้นที่แผ่นฟิล์มที่ปกคลุมพื้นที่ผิวของซีรัมน้ำทิ้ง.....	68
4.3	สัดส่วนค่าใช้จ่ายไฟฟ้าภายในโรงงานผลิตน้ำยางขึ้น.....	73
4.4	Energy consumption in European agriculture.....	74

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งของโลก (สมาคมยางพาราไทย, 2554) สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยปีละหลายแสนล้านบาท นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มการขยายตัวของอุตสาหกรรมยางรวมทั้งผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ อย่างต่อเนื่องทั้งในด้านการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก เนื่องจากยังมีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางในปริมาณที่สูงขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีการส่งออก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่งมาตรฐานและน้ำยางข้น

อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางถือเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ใช้พลังงานมาก ซึ่งรูปแบบการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมยางแตกต่างกันออกไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับเทคโนโลยีที่ใช้ ส่วนใหญ่จะมีการใช้ทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้อุตสาหกรรมน้ำยางข้นซึ่งเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมยางที่แปรรูปน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางข้นเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ เช่น อุปกรณ์การแพทย์ ของใช้ในสำนักงาน ชิ้นส่วนรถยนต์นั้น มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดถึงร้อยละ 87 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550) โดยใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการปั่นแยกน้ำยาง การกวนในถังเก็บน้ำยาง บีมน้ำ พัดลม ระบบบำบัดน้ำทิ้ง และสำนักงาน

เมื่อพิจารณาถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นแล้ว พบว่าระบบบำบัดน้ำทิ้งซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณร้อยละ 10 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เป็นส่วนที่มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานได้โดยไม่มีผลต่อกำลังการผลิตของน้ำยางข้น โดยทั่วไปแล้วระบบบำบัดน้ำทิ้งที่นิยมใช้ในโรงงานผลิตน้ำยางข้น คือ การใช้ระบบบ่อหมักร่วมกับการใช้บ่อเติมอากาศ แม้ว่าจะเป็นระบบที่ค่าใช้จ่ายน้อยในการเดินระบบ แต่ต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้ามากเนื่องจากการใช้อุปกรณ์เครื่องเติมอากาศลงในน้ำทิ้งเหล่านั้น (กิตติพงษ์ หลงสะ, 2553) เพื่อลดบีโอดีของน้ำทิ้งภายในโรงงานซึ่งมีค่าสูงถึง 4,430 – 6,900 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2548; Danteravaich et al., 2009) เมื่อพิจารณาแหล่งน้ำทิ้งต่างๆ ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น อันได้แก่ น้ำล้างทำความสะอาดเครื่องจักร น้ำล้างพื้น น้ำจากการเติมสารเคมีเพื่อให้น้ำยางจับตัวหรือการปั่น และซีรัมน้ำยางพาราจากกระบวนการสกิม พบว่าบีโอดีของซีรัมน้ำยางพาราสูงถึง 13,670 – 27,650 มิลลิกรัมต่อลิตร

(กัลยา ศรีสุวรรณ, 2540; จรรยา อินทมณี, 2540; สุวีรัตน์ แก้วสามดวง, 2552; Abraham et al., 2009; Ng Chiew Sum, Chen and Ibrahim, 1979)

โดยทั่วไปสามารถแบ่งส่วนประกอบของน้ำยางสดออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ 1) ส่วนของอนุภาคยาง (Rubber particles) ที่มีอยู่ 30-35% โดยปริมาตร และกว่า 95% เป็นส่วนของอนุภาคขนาดนาโนที่จะถูกเหนี่ยวนำให้จับตัวเป็นก้อนยาง เพื่อทำหน้าที่อุดตันท่อน้ำยางและเป็นกาวยางเพื่อปิดบาดแผลสดที่เกิดจากการกรีด และ 2) ส่วนที่ไม่ใช่ยางหรือส่วนที่เป็นของเหลว (Non-rubber aqueous component) ได้แก่ ซีรัมน้ำยางพาราซึ่งเป็นส่วนสารชีวเคมีอื่นๆนอกเหนือจากอนุภาคยางที่ต้นยางสร้างขึ้นมาเพื่อการทำหน้าที่ต่อต้านหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่บุกรุกเข้ามาทางบาดแผลสด พร้อมทั้งทำการเยียวยารักษาบาดแผลและกระตุ้นการสร้างเนื้อเยื่อเปลือกและท่อน้ำยางขึ้นมาใหม่ เพื่อทดแทนส่วนที่ถูกเขือนออกไปจากการกรีด (รพีพรรณ วิทิตสุวรรณกุล, 2011) จากงานศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่าส่วนของซีรัมน้ำยางพาราอุดมไปด้วยกลุ่มสารสำคัญต่างๆ ได้แก่ 1) กลุ่มสารจำพวกโปรตีน เช่น โปรตีนเอสอินฮิบิเตอร์ กรดอะมิโนต่างๆ 2) กลุ่มสารน้ำตาล (phyto-sugars) จำพวก L- quebrachitol, sucrose fructose และ 3) กลุ่มสารแร่ธาตุ ได้แก่ Cr, Cu, Mn, Mg, Ca, Se, Zn, SO_4^{2-} (รพีพรรณ วิทิตสุวรรณกุล, 2011; กรองแก้ว สาครรัตน์, 2545), N, P, K (นฤมล ทิมทอง, 2551) ล้วนแต่เป็นสารที่มีคุณสมบัติที่ดีแทบทั้งสิ้น

กระบวนการผลิตน้ำยางข้น เป็นกระบวนการทำให้น้ำยางสดอยู่ในรูปของน้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content: DRC) อย่างน้อยร้อยละ 60 เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป ส่วนของเหลวที่เหลือจากกระบวนการดังกล่าว เรียกว่า หางน้ำยางหรือซีรัมน้ำยางพารา ที่มี DRC ร้อยละ 3-5 จะเข้าสู่กระบวนการสกิมเพื่อจับตัวเนื้อยางที่เหลือกลับมาอีกครั้งด้วยกรดซัลฟิวริกต่อไป ซีรัมน้ำยางพาราส่วนที่เหลือจากกระบวนการสกิม (ซีรัมน้ำทิ้ง) จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานต่อไป

ซีรัมน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสกิม ซึ่งมีประมาณ 24% ของปริมาณน้ำทิ้งทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) จะถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานเช่นเดียวกับน้ำทิ้งจากแหล่งอื่นๆ ของโรงงาน การลดค่าบีโอดีของน้ำทิ้งให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์เติมอากาศในระบบบำบัดน้ำทิ้งเพื่อลดค่าบีโอดีจึงมีมากตามค่าบีโอดีด้วย และหากการจัดการน้ำทิ้งเหล่านั้นไม่เหมาะสมหรือไม่ได้ตามมาตรฐานดังกล่าว ย่อมส่งผลต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม ทั้งมลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ มลพิษทางดิน ซึ่งล้วนต้องใช้พลังงานในการจัดการและแก้ไขปัญหาแทบทั้งสิ้น

ชีรมน้ำทิ้งมีองค์ประกอบของเศษยาง โปรตีน น้ำตาล ไขมันเกลืออินทรีย์และเกลืออนินทรีย์ (จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์, 2548; Thongmak et al., 2009; Abraham et al., 2009) เมื่อสารอินทรีย์เหล่านั้นถูกแบคทีเรียย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจนทำให้เกิดผลพลอยได้เป็นแก๊สมีเทนซึ่งเป็นหนึ่งในแก๊สเรือนกระจก (US EPA, 2010) ที่มีศักยภาพทำให้โลกร้อน 24 เท่าของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่เดียวกันชีรมน้ำทิ้งยังมีส่วนประกอบของธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน โปแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม สังกะสี (นฤมล ทิมทอง, 2551; Abraham et al., 2009) สามารถใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชได้ ดังเช่น เพาะเห็ดนางฟ้า (รุจิรัตน์ ภากรศิลป์, 2542) ปลูกข้าว (กรองแก้ว สาครรัตน์, 2545) ปลูกต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรก (นฤมล ทิมทอง, 2551)

อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากชีรมน้ำทิ้งยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากมีกลิ่นเหม็นจากการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วของสารอินทรีย์ปริมาณมากในชีรมน้ำทิ้งที่เกิดการย่อยสลายได้ในระยะเวลาอันสั้น อีกทั้งเทคโนโลยีรักษาสภาพชีรมน้ำทิ้งเพื่อการประโยชน์ในแง่เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชในปัจจุบันยังมีการศึกษาวิจัยน้อยมาก การเสื่อมสภาพโดยทั่วไปเกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่ จุลินทรีย์ ลักษณะทางกายภาพ เอ็นไซม์ และจากปฏิกิริยาเคมี มีผลให้เกิดการเสื่อมหรือลดลงของคุณภาพทางด้านต่างๆ เช่น สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส คุณสมบัติที่ไม่น่าพึงประสงค์ (Food Network Solution Co., Ltd., 2010) แต่สาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพนั้นเกิดจากการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของชีรมน้ำทิ้งแล้ว พบว่าคล้ายคลึงกับองค์ประกอบของอาหารที่มีทั้งโปรตีน น้ำตาล ไขมัน ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ดีเช่นเดียวกันกับองค์ประกอบของชีรมน้ำทิ้งที่ใช้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีต่างๆ มากมาย เช่น การแช่แข็ง การอบแห้ง การใช้รังสี เป็นต้น เป้าหมายเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพทางเคมีของอาหารเหล่านั้นให้มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น

ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตและทำลายจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพในอาหารเพื่อใช้ในการรักษาสภาพของอาหารให้มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้นเช่นเดียวกับวิธีการอื่นๆ สารเคมีเหล่านั้นเรียกว่า " สารกันบูด" มีให้เลือกใช้หลายชนิดเพื่อให้เหมาะกับอาหารแต่ละประเภท เช่น กลุ่มของกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอท กลุ่มของกรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบทมักใช้ในเครื่องดื่มและขนมปัง ใช้งานได้ง่ายเพราะละลายน้ำได้ดี กลุ่มของสารไนเตรทและ ไนโตรที่ใช้ได้ดีสำหรับอาหารกระป๋อง ส่วนกรดอะซีติกและกรดฟอร์มิก นอกจากจะเพิ่มรสเปรี้ยวให้อาหารแล้วยังสามารถใช้เป็นสารกันบูดได้เช่นกัน ในปัจจุบัน

การใช้สารกันบูดเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถป้องกันการบูดเน่าของอาหารได้ และยืดอายุการเก็บรักษาได้ (เวณิกา เบ็ญจพงษ์, 2538) โดยไม่ทำให้คุณภาพหรือสภาพของอาหารเปลี่ยนแปลง การเลือกสารกันบูดที่ใช้ในการถนอมอาหารมาปรับประยุกต์ใช้เพื่อรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้ง เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีความเป็นไปได้และน่าสนใจเพราะมีวิธีการใช้ที่ไม่ยุ่งยาก ไม่สิ้นเปลืองเวลาและพลังงานอื่นใดในขั้นตอนการรักษาสภาพเหมือนดังเช่นกรรมวิธีอื่น ๆ

ดังนั้นจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่จะปรับประยุกต์เทคโนโลยีการรักษาสภาพอาหารโดยการใช้สารกันบูดมาใช้เพื่อรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้ง ทั้งนี้การดึงซีรัมน้ำทิ้งออกมาจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ย่อมส่งผลให้ปริมาณน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นลดลงควบคู่ไปกับการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงานผลิตน้ำยางข้นในส่วนของระบบบำบัดน้ำทิ้ง นับเป็นทางเลือกหนึ่งในการบริหารและจัดการการใช้พลังงานภายในอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น โดยการนำน้ำทิ้งที่เป็นแหล่งหลักของการใช้พลังงานไฟฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์ นอกจากนี้ยังช่วยลดการเกิดแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากซีรัมน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นได้อีกทางหนึ่งอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ คือ

1. ศึกษาการใช้พลังงานในระบบการกำจัดของทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น
2. ศึกษาการรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งที่เกิดในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น
3. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตโดยเทคโนโลยีการรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้ง
4. ศึกษาการเกิดแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิกฤตพลังงานเป็นประเด็นที่ทั่วโลกต่างให้ความสำคัญ เนื่องจากต้นทุนด้านพลังงานในปัจจุบันปรับตัวสูงขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์การจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้การใช้พลังงานในองค์กรเกิดประโยชน์สูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคอุตสาหกรรมซึ่งเป็นภาคเศรษฐกิจที่ใช้พลังงานขั้นสุดท้ายมากที่สุด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, 2554) ที่ผ่านมามีผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมต่างให้ความสำคัญกับการจัดการต้นทุนในด้านอื่นๆ มากกว่า แต่เมื่อราคาพลังงานมีความไม่แน่นอนสูง ทำให้ผู้ประกอบการหันมาสนใจเรื่องประสิทธิภาพและการจัดการพลังงานภายในองค์กรมากขึ้น นับเป็นอีกทางหนึ่งที่จะช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้ นอกจากนี้การลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในแก๊สเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของปัญหาภาวะโลกร้อนได้ทางหนึ่งด้วย

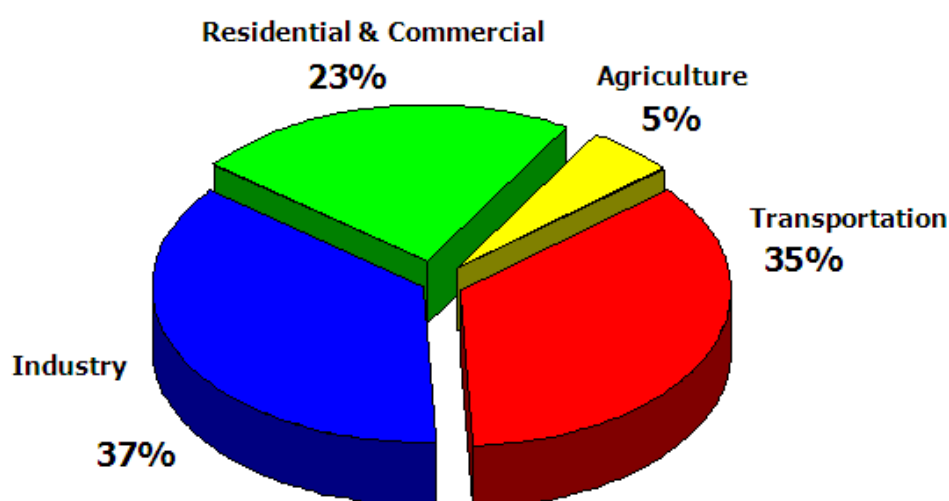
ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก ทำให้อุตสาหกรรมยางพาราสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยปีละหลายแสนล้านบาทและมีแนวโน้มความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมยางในปริมาณที่สูงขึ้นเรื่อยๆ หากพิจารณาในมิติของพลังงานแล้ว นับได้ว่าอุตสาหกรรมยางเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการใช้พลังงานมากและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มระดับการใช้พลังงานต่อไปตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ส่วนใหญ่จะมีการใช้ทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับเทคโนโลยีที่ใช้ โดยผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีการส่งออก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่งมาตรฐานและน้ำยางข้น เป็นต้น สำหรับอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำที่แปรรูปน้ำยางสดจากต้นยางพาราให้เป็นน้ำยางข้น ก่อนส่งให้กับอุตสาหกรรมปลายน้ำอื่นๆ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตต่อไป

2.1 การใช้พลังงานของประเทศไทย

2.1.1 สถานการณ์การใช้พลังงานในประเทศไทย

ประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง ภาคการท่องเที่ยวและการบริการ เพื่อรองรับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่นับวันจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งมีปัจจัยสนับสนุนทั้งทางเศรษฐกิจโลกที่ฟื้นตัว และอุปสงค์ภายในประเทศ โดยเฉพาะการลงทุนในภาคเอกชนและการบริโภคภาคครัวเรือน ปัจจัยดังกล่าวเหล่านี้ส่งผลต่อสถานการณ์การใช้พลังงานภายในประเทศแทบทั้งสิ้น

สำหรับภาคเศรษฐกิจที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดคือ ภาคอุตสาหกรรม คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 37 รองลงมาคือภาคการขนส่ง ร้อยละ 35 ภาคธุรกิจ/ครัวเรือนและภาคการเกษตร ร้อยละ 23 และ 5 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 สัดส่วนการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามภาคเศรษฐกิจ ปี 2010

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2010)

การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นสุดท้าย หมายถึง พลังงานขั้นสุดท้ายที่ผู้บริโภคใช้ โดยไม่รวมถึงเชื้อเพลิงที่นำไปใช้ในการผลิตพลังงานทุติยภูมิ เช่น พลังงานไฟฟ้าผลิตจากก๊าซธรรมชาติ ก็จะคิดเฉพาะปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เท่านั้น

สำหรับประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นสุดท้ายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยมีการพึ่งพาน้ำมันสำเร็จรูปมากที่สุด เนื่องจากเศรษฐกิจไทยมีการขยายตัวตามเศรษฐกิจของ

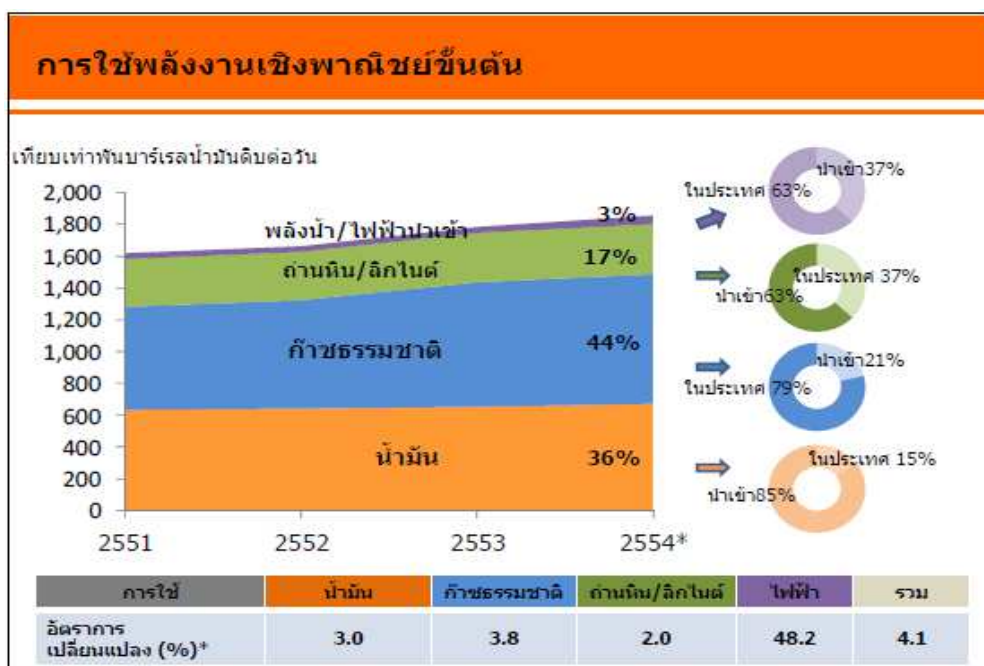
โลกจึงส่งผลให้ภาคอุตสาหกรรมปรับตัวดีขึ้น รองลงมาคือ ไฟฟ้า ซึ่งใช้มากในภาคอุตสาหกรรม และภาคธุรกิจและครัวเรือน ตามด้วยถ่านหินนำเข้า ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.1 และคาดว่าในอนาคต การใช้พลังงานที่กล่าวมาจะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจในประเทศไทย

ตารางที่ 2.1 การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นสุดท้าย ในปี 2549 – 2553 (กระทรวงพลังงาน, 2553)

ชนิดพลังงาน	ปริมาณใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นสุดท้าย (เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน) ^a				
	2549	2550	2551	2552	2553
น้ำมันสำเร็จรูป	638	652	629	640	650
ก๊าซธรรมชาติ	59	74	87	106	123
ถ่านหินนำเข้า	91	108	125	133	138
ลิกไนต์	29	21	20	20	19
ไฟฟ้า	223	233	236	237	262
รวม	1,040	1,088	1,098	1,136	1,191

หมายเหตุ: ^a หน่วย “เทียบเท่าบาร์เรลน้ำมันดิบ” หรือ BOE (Barrel of oil equivalent) หมายถึง การปรับเทียบพลังงานชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ให้เทียบเท่าน้ำมันดิบ ตัวอย่างเช่น ก๊าซธรรมชาติ 1 ล้านลูกบาศก์ฟุต เทียบเท่าน้ำมันดิบ 174.4 บาร์เรล

สำหรับปี 2554 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้นทั้งหมด 1,856 เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.1 เมื่อเทียบกับปี 2553 (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น ปี 2554 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2554)

โดยก๊าซธรรมชาติมีส่วนการใช้มากที่สุดถึงร้อยละ 44 รองลงมาเป็นน้ำมันร้อยละ 36 ตามด้วยถ่านหิน/ลิกไนต์ และพลังน้ำ/ไฟฟ้านำเข้าร้อยละ 17 และ 3 ตามลำดับ สำหรับพลังงานน้ำ/ไฟฟ้านำเข้าที่มีการใช้สูงขึ้นจากปี 2553 ถึงร้อยละ 48.2 เนื่องจากมีการผลิตไฟฟ้าจากโรงงานพลังงานน้ำและรับซื้อไฟฟ้าจากประเทศลาวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเพื่อชดเชยก๊าซธรรมชาติที่ลดลงจากเหตุการณ์ท่อส่งก๊าซธรรมชาติรั่วในอ่าวไทยประกอบกับปริมาณแหล่งก๊าซธรรมชาติที่ลดลงภายในประเทศ

สำหรับมูลค่าการนำเข้าพลังงานในปี 2554 มีมูลค่ารวม 1,247,217 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2553 อยู่ 295,225 ล้านบาท หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 31.0 (ภาพที่ 2.3) โดยเป็นมูลค่าการนำเข้าน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 31.0 เนื่องจากราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกที่สูงขึ้น เพราะปัญหาความไม่สงบภายในประเทศผู้ผลิตน้ำมันหลายประเทศ มูลค่าการนำเข้าไฟฟ้าโดยคิดเป็นมูลค่าการนำเข้าไฟฟ้ามากที่สุดถึงร้อยละ 56.4 เนื่องจากมีการนำเข้าไฟฟ้าจากเขื่อนน้ำจันทประเทศลาว ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2554 และมูลค่าการนำเข้าก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้นเนื่องจากเริ่มมีการนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) เป็นครั้งแรกตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2554 เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าและ NGV



ภาพที่ 2.3 มูลค่าการนำเข้าพลังงาน ปี 2554 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2554)

2.1.2 การใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม

ในปี 2549 ประเทศไทยมีปริมาณการจัดหาพลังงานเพื่อใช้ในประเศรวม 103,947 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และมีปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายรวมทั้งสิ้น 63,180 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ โดยมีการใช้พลังงานสิ้นเปลือง (พลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น) ร้อยละ 82.6 และพลังงานหมุนเวียนร้อยละ 17.4 ของการใช้พลังงานทั้งหมด

ภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยในปี 2549 มีปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายต่อมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมเท่ากับ 15.0 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อล้านบาท และอัตราการเติบโตของปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายต่ออัตราการเติบโตของมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวม ในช่วงปี 2543-2546 เท่ากับ 1.1:1.0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภาคอุตสาหกรรมมีอัตราเติบโตของการใช้พลังงานสูงกว่าอัตราเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ และมีความจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญด้านการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อลดต้นทุนด้านพลังงาน และสร้างโอกาสในการแข่งขันกับต่างประเทศ

สำหรับสาขาในภาคอุตสาหกรรมที่มีการใช้สาขาที่ใช้พลังงานมากที่สุดและครอบคลุมการใช้พลังงานมากกว่าร้อยละ 37 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดในภาคอุตสาหกรรมในปี 2549 แบ่งออกเป็น 8 สาขาหลัก ได้แก่ อโลหะ อาหารและเครื่องดื่ม เคมีผลิตภัณฑ์โลหะ โลหะมูลฐาน สิ่งทอ กระดาษ และไม้และเครื่องเรือน (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 การใช้พลังงานในแต่ละภาคอุตสาหกรรมในปี 2549

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

สาขาอุตสาหกรรม	ปริมาณการใช้พลังงาน (ktoe) ^a	สัดส่วน (ร้อยละ)
อโลหะ	7,460	31.8
อาหารและเครื่องดื่ม	6,798	29.0
เคมี	2,509	10.7
ผลิตภัณฑ์โลหะ	1,557	6.7
โลหะมูลฐาน	1,287	5.5
สิ่งทอ	943	4.0
กระดาษ	801	3.4
ไม้และเครื่องเรือน	192	0.8
อื่นๆ	1,895	8.1
รวม	23,442	100.0

หมายเหตุ: ^a : toe เป็นหน่วยเทียบเท่าตันน้ำมันดิบซึ่งบอกปริมาณพลังงานโดยเปรียบเทียบกับปริมาณพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินจำนวน 1 ตัน โดยเฉลี่ย น้ำมันดิบ 1 ตัน เมื่อนำไปเผาจะสลายตัวให้พลังงานประมาณ 41.868 กิกะจูล GJ) หรือ 11.630 เมกะวัตต์ชั่วโมง (MWh) นิยมใช้เป็นหน่วย กลางสำหรับการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันพลังงานที่มีแหล่งกำเนิดและลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันเช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และพลังงานที่เกิดจากพลังน้ำเป็นต้น

1) อุตสาหกรรมอโลหะ

อุตสาหกรรมอโลหะ ประกอบด้วย อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เซรามิค เครื่องแก้ว กระดาษ ผลิตภัณฑ์จากดินที่ใช้กับงานก่อสร้าง จำพวกอิฐ กระเบื้องหลังคา ปูนขาว ปูนปลาสเตอร์ ผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์ยิปซัม และผลิตภัณฑ์จากแร่อลูมิเนียม ซึ่งอุตสาหกรรม

เหล่านี้มักต้องการความร้อนสูงในกระบวนการผลิต ทำให้อุตสาหกรรมอลูมิเนียมเป็นสาขาอุตสาหกรรมมีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงมากที่สุดของภาคอุตสาหกรรม

ในปี 2549 อุตสาหกรรมอลูมิเนียมมีปริมาณการใช้พลังงานรวม 7,460 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 31.8% ของการใช้พลังงานทั้งหมดของภาคอุตสาหกรรม จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม (ปี 2546) อุตสาหกรรมอลูมิเนียมมีสัดส่วนการใช้พลังงานที่เป็นพลังงานสิ้นเปลืองเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ ถ่านหินร้อยละ 64.9 รองลงมาคือ ก๊าซธรรมชาติ ไฟฟ้า น้ำมันสำเร็จรูป (น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด) เป็นร้อยละ 12.9, 11.5 และ 8.5 ตามลำดับ และมีการใช้พลังงานหมุนเวียนในรูปของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ฟืน แกลบ รวมประมาณร้อยละ 2.2 ตามลำดับ อุตสาหกรรมอลูมิเนียมมีโรงงานที่เป็นโรงงานควบคุมตามพ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งสิ้น 142 แห่ง (ข้อมูลปี 2546)

2) อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

ถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ และมีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้นอีกมากทั้งในด้านการส่งออก และการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ ด้วยจำนวนของโรงงานที่มีมากประกอบกับเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานสูง จึงทำให้อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากเป็นอันดับสองของภาคอุตสาหกรรมของประเทศ

ในปี 2549 อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม มีปริมาณการใช้พลังงานรวม 6,798 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 29.0 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของภาคอุตสาหกรรม และจากข้อมูลปี 2546 มีโรงงานที่เป็นโรงงานควบคุมตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งสิ้น 604 แห่ง

จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม (ปี 2546) อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มมีสัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งเป็นพลังงานสิ้นเปลืองร้อยละ 24.8 ประกอบด้วยน้ำมันสำเร็จรูป (ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันเบนซิน) ไฟฟ้า ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 10.7, 9.3, 2.7 และ 2.2 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดในอุตสาหกรรมประเภทนี้ ตามลำดับ ส่วนพลังงานหมุนเวียนมีการใช้สูงถึงร้อยละ 75.2 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด โดยพลังงานส่วนใหญ่ ได้แก่ ชานอ้อย ที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า และความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาล อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มมีแนวโน้มของการนำมาพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการ โดยส่วนใหญ่จะเป็นการใช้งานในระบบสนับสนุนต่างๆ เช่น ระบบปรับอากาศและระบบผลิตลมอัด เป็นต้น แต่มีอุตสาหกรรมอาหารบางประเภทที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก เช่น อุตสาหกรรมห้องเย็นและแปรรูปอาหารแช่เย็น อุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็งหลอดและน้ำแข็งซอง ซึ่งจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในสัดส่วนที่สูงสำหรับเครื่องทำความเย็น สำหรับกระบวนการแช่แข็ง โดยการใช้แก๊สเหล่านั้น โรงงานจะต้องซื้อแก๊สเหลวจากผู้ผลิต ซึ่งในกระบวนการผลิตก็จะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ในการอัดแก๊สให้กลายเป็นของเหลว

ส่วนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานที่ใช้เป็นหลักสำหรับการผลิตอาหารโดยส่วนมากจะเป็นเชื้อเพลิงจากพลังงานหมุนเวียนและใช้ในกระบวนการทำให้อาหารสุกและฆ่าเชื้อ โดยส่วนใหญ่จะอาศัยไอน้ำเป็นตัวกลาง

3) อุตสาหกรรมเคมี

อุตสาหกรรมเคมีเป็นอุตสาหกรรมที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์อย่างมาก โดยเป็นอุตสาหกรรมเกี่ยวกับ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ปิโตรเคมี (เช่น PVC พลาสติก วัสดุสังเคราะห์) เคมีภัณฑ์ (เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน กำมะถัน กรด และสี) ผลิตภัณฑ์เคมี (เช่น น้ำหอม เครื่องสำอาง ยา กาว และผลิตภัณฑ์ยาง)

ในปี 2549 อุตสาหกรรมเคมีมีปริมาณการใช้พลังงานรวม 2,509 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 10.7 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของภาคอุตสาหกรรม จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม (ปี 2546) อุตสาหกรรมเคมีมีสัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งเป็นพลังงานสิ้นเปลืองถึงร้อยละ 82.5 โดยก๊าซธรรมชาติมีการใช้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ ไฟฟ้า น้ำมันสำเร็จรูป (น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด) และถ่านหิน ตามลำดับ ส่วนพลังงานหมุนเวียนมีการใช้ร้อยละ 17.5 นั้น ได้แก่ ฟืน และชี้เลี้ยง ซึ่งนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อและอบแห้ง อุตสาหกรรมเคมีมีโรงงานที่เป็นโรงงานควบคุมตามพ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งสิ้น 503 แห่ง (ข้อมูลปี 2546)

4) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ

เป็นอุตสาหกรรมประเภทที่ทำการผลิตเกี่ยวกับ ผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมโลหะอื่นๆ เช่น เครื่องมือแพทย์ที่เป็นโลหะ กล้องถ่ายภาพ และนาฬิกา เป็นต้น

ในปี 2549 อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ มีปริมาณการใช้พลังงานรวม 1,557 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 6.7 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของภาคอุตสาหกรรม จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม (ปี 2546) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะมีการใช้พลังงานเป็นพลังงานสิ้นเปลืองทั้งหมด โดยชนิดที่มีการใช้มากที่สุด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 54.7 รองลงมาได้แก่ น้ำมันสำเร็จรูป (น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด) และถ่านหิน สาเหตุที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากนั้นเนื่องจากในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่ใช้เครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน เช่น เครื่องตัด เจาะ เครื่องปรับขนาดชิ้นงาน เชื่อมประกอบ โดยใช้หุ่นยนต์ รวมถึงสายพานการผลิตแบบอัตโนมัติโดยใช้หุ่นยนต์ เป็นต้น อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะมีโรงงานที่เป็นโรงงานควบคุมตามพ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งสิ้น 614 แห่ง (ข้อมูลปี 2546)

5) อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน

อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน ได้แก่ การผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกเหล็ก และเหล็กกล้าขั้นมูลฐาน รวมทั้งผลิตภัณฑ์โลหะที่มีการถลุง การรีด การผสม การทำให้บริสุทธิ์ การทำให้เป็นรูปพรรณ และการหล่อโลหะ จัดเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่สำคัญของอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ

ในปี 2549 อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐานมีปริมาณการใช้พลังงานรวม 1,287 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 5.5 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของภาคอุตสาหกรรม และจากข้อมูลปี 2546 มีโรงงานที่เป็นโรงงานควบคุมตามพ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งสิ้น 182 แห่ง

6) อุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอถือเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศที่ก่อให้เกิดการจ้างงานมากกว่า 1 ล้านคนต่อปี และเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างมูลค่าการส่งออกให้กับประเทศได้มากกว่าปีละ 250,000 ล้านบาท

อุตสาหกรรมสิ่งทอไทยประกอบด้วยอุตสาหกรรมย่อยหลายอุตสาหกรรมด้วยกัน คือ อุตสาหกรรมเส้นใย ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream) อุตสาหกรรมปั่นด้าย อุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า และอุตสาหกรรมฟอกย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ

เป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำ (Midstream) และอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม เป็นอุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream) โดยทุกอุตสาหกรรมย่อยเหล่านี้มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันทั้งระบบ ดังต่อไปนี้

- อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream)

อุตสาหกรรมเส้นใย สามารถแบ่งประเภทของเส้นใยออกเป็น 2 ลักษณะคือ เส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยฝ้าย เส้นใยไหม ลินิน ป่าน ปอ เป็นต้น ซึ่งนิยมใช้เส้นใยฝ้ายมากที่สุด และเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ เส้นใยโพลีเอสเตอร์ เส้นใยไนลอน เส้นใยอะคริลิก และเส้นใยเรยอน

- อุตสาหกรรมกลางน้ำ (Midstream) ประกอบด้วย

อุตสาหกรรมปั่นด้าย เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบเส้นใยสังเคราะห์มาจากภายในประเทศเป็นหลัก แต่บางส่วนต้องนำเข้าฝ้ายจากต่างประเทศ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมปั่นด้าย ได้แก่ เส้นด้ายฝ้าย และเส้นด้ายใยสังเคราะห์

อุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปั่นด้าย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า ได้แก่ ผ้าทอจากใยฝ้าย ใยสังเคราะห์ และใยผสม และผ้าถักจากใยฝ้าย ใยสังเคราะห์ และใยผสม

อุตสาหกรรมฟอกย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ จัดเป็นอุตสาหกรรมขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตผ้าก่อนออกสู่ผู้บริโภคหรือโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป โดยเพิ่มคุณค่าให้ผ้าฝืนในด้านความสวยงาม น่าใช้ สวมใส่สบาย และเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในกิจกรรมต่างๆ

- อุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream)

อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม เป็นอุตสาหกรรมปลายน้ำของระบบโครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย ซึ่งการผลิตส่วนใหญ่ยังใช้เครื่องจักรที่มีอายุการใช้งานมานาน แต่อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มก็ยังคงเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าการส่งออกสูงสุด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม ได้แก่ เสื้อผ้าสำเร็จรูปจากการทอและเสื้อผ้าสำเร็จรูปจากการถัก

ในปี 2549 อุตสาหกรรมสิ่งทอมีปริมาณการใช้พลังงานรวม 943 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 4.0 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของภาคอุตสาหกรรม และจากข้อมูลปี 2546 มีโรงงานที่เป็นโรงงานควบคุมตามพ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งสิ้น 338 แห่ง

ต้นทุนพลังงานมีสัดส่วนประมาณ 15% ของต้นทุนการผลิต โดยพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักที่ใช้ในโรงงานทอดผ้าคิดเป็นร้อยละ 80 ของการใช้พลังงาน ส่วนพลังงานความร้อนคิดเป็นร้อยละ 20 แต่หากมีขั้นตอนการย้อมสีเส้นด้ายด้วยจะมีการใช้พลังงานความร้อนมากขึ้น

7) อุตสาหกรรมกระดาษ

อุตสาหกรรมกระดาษเป็นอุตสาหกรรมที่มีการผลิตแบบครบวงจรเริ่มตั้งแต่การผลิตเยื่อกระดาษ จนกลายเป็นกระดาษประเภทต่างๆ ในปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตกระดาษได้เองด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยทดแทนการนำเข้ากระดาษจากต่างประเทศได้อย่างมาก โดยอุตสาหกรรมกระดาษเป็นอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มขยายตัวตามความต้องการผลิตภัณฑ์กระดาษที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี

ในปี 2549 อุตสาหกรรมกระดาษมีปริมาณการใช้พลังงานรวม 801 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 3.4 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของภาคอุตสาหกรรม และจากข้อมูลปี 2546 มีโรงงานที่เป็นโรงงานควบคุมตามพ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งสิ้น 87 แห่ง

จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม (ปี 2546) อุตสาหกรรมกระดาษ มีสัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งเป็น พลังงานสิ้นเปลืองร้อยละ 49.6 ประกอบด้วย ถ่านหิน (สำหรับผลิตไฟฟ้าและความร้อนใช้ในโรงงาน) น้ำมันสำเร็จรูป (น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันเบนซิน) ไฟฟ้า และก๊าซธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 27.2, 12.8, 8.1 และ 1.6 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดในอุตสาหกรรมประเภทนี้ตามลำดับ ส่วนพลังงานหมุนเวียนมีการใช้สูงถึงร้อยละ 50.4 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด โดยพลังงานส่วนใหญ่ ได้แก่ Black Liquor ที่ได้จากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งมีสัดส่วนการใช้มากถึงร้อยละ 26.6 รองลงมาได้แก่ เปลือกไม้, ขี้เลื่อย, แกลบ, Sludge, ฝุ่นไม้ และฟืนซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิต

8) อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือน

อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีการผลิตมาเป็นเวลายาวนานโดยเริ่มจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนเพื่อใช้เอง และจำหน่ายในประเทศ ต่อมาได้มีการผลิตเพื่อส่งออกต่างประเทศ และเติบโตขึ้นจนเป็นสินค้าส่งออก 20 อันดับแรกของไทย และยังมีแนวโน้มที่จะขยายตัวต่อเนื่องโดยได้รับการจัดอยู่ในประเภทสินค้าเป้าหมายการส่งออกด้วย

ในปี 2549 อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนมีปริมาณการใช้พลังงานรวม 192 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 0.8 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของภาคอุตสาหกรรม จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม (ปี 2546) อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนมีสัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งเป็นพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ไฟฟ้า และน้ำมันสำเร็จรูป (น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา) คิดเป็นร้อยละ 17.6 และ 5.2 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดตามลำดับ และใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานส่วนใหญ่ โดยมีสัดส่วนถึงร้อยละ 77.2 เนื่องจากมีเศษไม้เหลือจากการผลิตที่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงาน อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนมีโรงงานที่เป็นโรงงานควบคุมตาม พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งสิ้น 93 แห่ง (ข้อมูลปี 2546) ส่วนใหญ่เป็นโรงงานควบคุมขนาดกลางและขนาดเล็ก

9) อุตสาหกรรมอื่นๆ

อุตสาหกรรมประเภทนี้ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมที่มีผลผลิตหรือสินค้าที่ไม่สามารถจัดอยู่ในอุตสาหกรรมประเภทหลักต่างๆได้ เช่น การเจียรไนและการขัดเพชรพลอย อุปกรณ์กีฬา เครื่องเขียน การซ่อมอากาศยานและส่วนประกอบอากาศยาน เป็นต้น

ในปี 2549 อุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ มีปริมาณการใช้พลังงานรวม 1,895 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 8.1 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของภาคอุตสาหกรรม จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม (ปี 2546) อุตสาหกรรมประเภทนี้มีพลังงานที่ใช้ทั้งหมดเป็นพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า มีสัดส่วนร้อยละ 80.1 นอกนั้นเป็นการใช้น้ำมันสำเร็จรูป (น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา) และก๊าซธรรมชาติ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 11.9 และ 8.0 ตามลำดับ อุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ มีโรงงานที่เป็นโรงงานควบคุมตาม พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งสิ้น 52 แห่ง (ข้อมูลปี 2546)

2.1.3 ภาพรวมของพลังงานแต่ละชนิดในปัจจุบัน

1) น้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูป

น้ำมันดิบ ปี 2554 มีปริมาณนำเข้าอยู่ที่ระดับ 791 พันบาร์เรลต่อวัน ลดลงร้อยละ 3.1 โดยที่น้ำมันสำเร็จรูปกลับมีการนำเข้าเพิ่มขึ้นจากปี 2553 ร้อยละ 3.2 โดยการใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันเครื่องบิน และ LPG (ไม่รวมการใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี) ในขณะที่การใช้น้ำมันเตาและน้ำมันเบนซินลดลง อาจเป็นเพราะปัจจุบันผู้ใช้รถบางส่วนหันมาใช้ NGV แทนน้ำมันเบนซิน

2) ก๊าซธรรมชาติ

ในปัจจุบันก๊าซธรรมชาติที่สามารถจัดหาได้ภายในประเทศคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 80 ของปริมาณการจัดหาทั้งหมด ที่เหลือร้อยละ 20 เป็นการนำเข้าจากพม่าแทบทั้งสิ้น ในปี 2554 ปริมาณการใช้อยู่ที่ระดับ 4,158 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อวัน เพิ่มขึ้นจากปี 2553 ร้อยละ 2.9 โดยเป็นการใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าร้อยละ 60 ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และอื่นๆ ร้อยละ 21 ใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมและรถยนต์ (NGV) ร้อยละ 14 และ 6 ตามลำดับ

3) ถ่านหิน

ในปี 2554 การผลิตลิกไนต์ปริมาณ 36 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปี 2553 ร้อยละ 2.0 โดยร้อยละ 80 ของการผลิตลิกไนต์ในประเทศผลิตจากเหมืองแม่เมาะของ กฟผ. ซึ่งจะนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะทั้งหมด ส่วนที่เหลือร้อยละ 20 ผลิตจากเหมืองเอกชน นอกจากนี้จะใช้ลิกไนต์/ถ่านหินในการผลิตไฟฟ้าแล้ว ที่เหลือจะถูกนำไปใช้ภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตปูนซีเมนต์ กระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร และอื่นๆ เป็นต้น

4) ไฟฟ้า

กำลังการผลิตติดตั้งไฟฟ้าในปี 2554 อยู่ที่ 31,447 เมกะวัตต์ เพิ่มขึ้นจากปี 2553 ซึ่งอยู่ที่ 30,920 เมกะวัตต์หรือเพิ่มขึ้น 527 เมกะวัตต์ โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีกำลังการผลิตติดตั้งสูงสุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 48 รองลงมาคือผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (IPP) ร้อยละ 38 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (SPP) ร้อยละ 7 และซื้อไฟจากต่างประเทศร้อยละ 7

สำหรับปริมาณการผลิตและการรับซื้อของ กฟผ. ในปี 2554 มีจำนวน 162,537 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยมีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติคิดเป็นร้อยละ 67 ผลิตจากลิกไนต์ / ถ่านหิน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 19 ไฟฟ้านำเข้าคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 7 จากพลังน้ำคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5 จากน้ำมันและพลังงานทดแทนคิดเป็นสัดส่วนอย่างละร้อยละ 1 โดยภาคอุตสาหกรรมมีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 45

5) พลังงานทดแทน

จากการที่ประเทศไทยมีการใช้พลังงานมากขึ้นตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ละมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่ในขณะเดียวกันแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง ไม่ว่าจะเป็น น้ำมัน ก๊าซ

ธรรมชาติเริ่มร่อยหรอลงทุกวัน การหันมาใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานจากชีวมวล จึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน และช่วยลดปัญหาด้านมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานในปัจจุบันได้อีกด้วย ในปัจจุบันการใช้พลังงานทดแทนเป็นอีกหนึ่งนโยบายที่รัฐบาลให้การส่งเสริมเป็นอย่างมาก ซึ่งพลังงานทดแทนที่ใช้ในปี 2554 เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.8 จากปี 2553

2.1.3 แหล่งสำรองพลังงานในประเทศไทย

แหล่งสำรองพลังงานที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีการสำรวจและพิสูจน์แล้ว มีปริมาณสำรองไม่มากนักเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ของประเทศ จึงต้องอาศัยการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศในสัดส่วนร้อยละ 60 ของปริมาณความต้องการรวม โดย ณ สิ้นปี 2540 ประเทศมีแหล่งสำรอง พลังงานที่พิสูจน์แล้วคงเหลือ (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2542) ดังนี้

1) น้ำมันดิบ มีปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้ว 17 พันล้านลิตร ซึ่งปริมาณสำรองที่มีอยู่ไม่เพียงพอกับปริมาณความต้องการใช้ในแต่ละปี

แหล่งน้ำมัน มีปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้วตามแหล่งต่างๆ ณ สิ้นปี 2540 ดังนี้

อ่าวไทย	7.6	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
ภาคกลาง	9.1	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
ภาคเหนือ	0.3	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
รวม	17.0	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ

2) ก๊าซธรรมชาติ มีปริมาณสำรองพิสูจน์แล้ว 356 พันล้านลิตร ซึ่งหากปริมาณการใช้ไม่เปลี่ยนแปลงและไม่มีการค้นพบเพิ่มเติมแล้ว คาดว่าจะใช้ไปได้อีกประมาณ 22 ปี

แหล่งก๊าซธรรมชาติ มีปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้วตามแหล่งต่างๆ ณ สิ้นปี 2540 ดังนี้

อ่าวไทย	222.8	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
โคราช	17.2	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
ภาคกลาง	5.8	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
พื้นที่พัฒนาร่วมไทย-มาเลเซีย	110.8	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
รวม	356.6	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ

3) ถ่านหิน (ลิกไนต์) ที่พัฒนาขึ้นมาใช้ประโยชน์แล้ว มีปริมาณสำรองที่ประเมินแล้วคงเหลือ 1,676 พันล้านลิตร แบ่งเป็นเหมืองของ กฟผ. 1,495 พันล้านลิตร และเหมืองเอกชน 181 พันล้านลิตร ซึ่งหากปริมาณการใช้ไม่เปลี่ยนแปลงและไม่มีการค้นพบเพิ่มเติมแล้ว คาดว่าจะใช้ไปได้อีกประมาณ 62 ปี

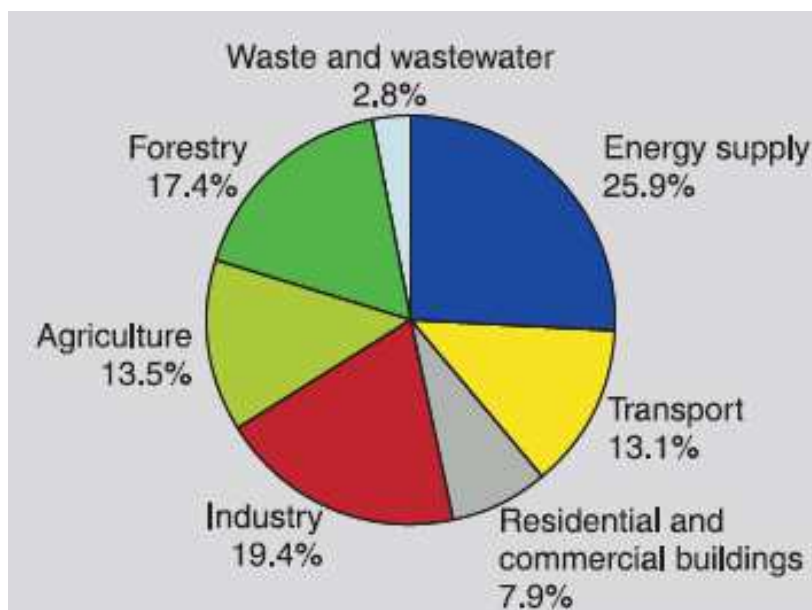
แหล่งถ่านหิน (ลิกไนต์) ที่พัฒนาขึ้นมาใช้แล้ว มีปริมาณสำรอง คงเหลือ ตามแหล่งต่างๆ ณ สิ้นปี 2540 ดังนี้

ภาคเหนือ	1,544.9	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
ภาคกลาง	1.0	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
ภาคใต้	130.3	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
รวม	1,676.2	พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ

2.2 แก๊สเรือนกระจก

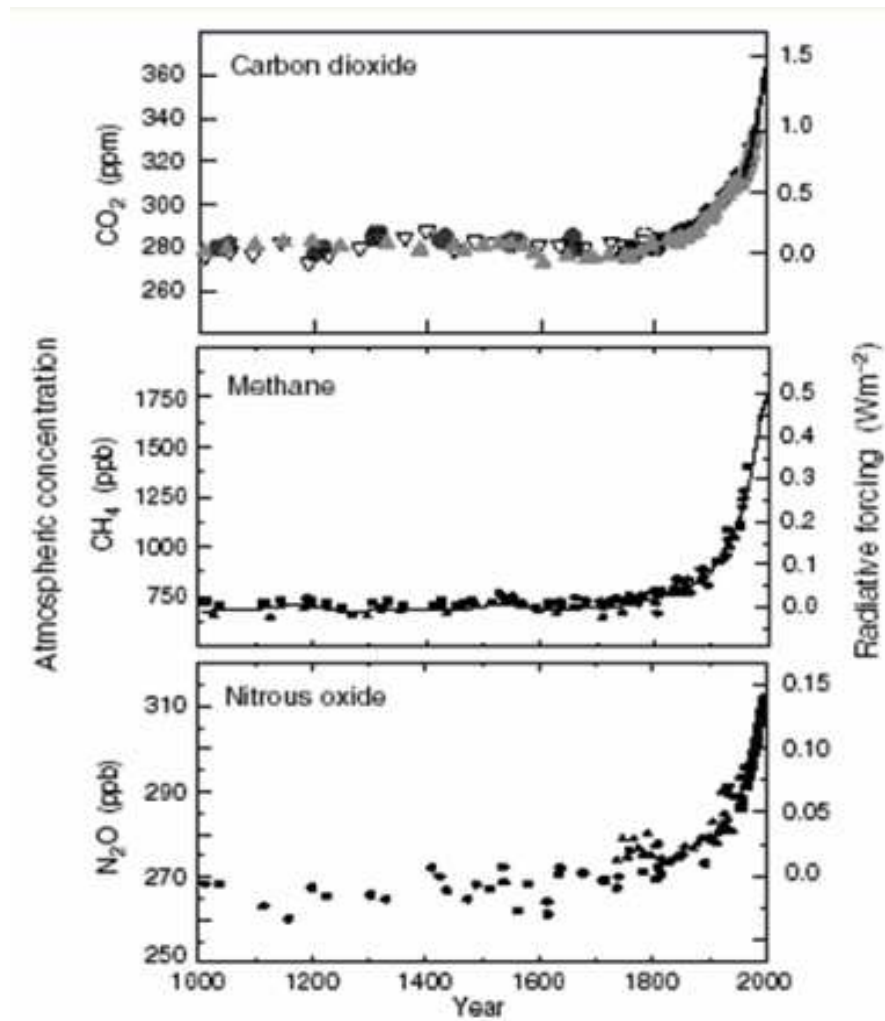
แก๊สเรือนกระจก (GHGs) เป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนได้ดี ซึ่งแก๊สเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ หากโลกไม่มีแก๊สเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศจะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันนั้นร้อนจัด และในตอนกลางคืนนั้นหนาวจัด เนื่องจากแก๊สเหล่านี้ดูดคลื่นรังสีความร้อนไว้ในเวลากลางวัน แล้วค่อยๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศโลกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน แก๊สเรือนกระจกมีทั้งแก๊สที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิง อุตสาหกรรม การตัดไม้ทำลายป่า เกษตรกรรม การขนส่ง ภาคธุรกิจและครัวเรือน หรือแม้แต่ของเสีย (ดังภาพที่ 2.4)

การเพิ่มขึ้นของแก๊สเรือนกระจกนั้น ส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถในการกักเก็บรังสีความร้อนได้มากขึ้น ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับปริมาณแก๊สเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะแก๊สเรือนกระจกแต่ละชนิดยังมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ที่แตกต่างกัน ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนนี้ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของโมเลกุล และขึ้นอยู่กับอายุของแก๊สนั้นๆ ในบรรยากาศ และจะคิดเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง



ภาพที่ 2.4 สัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศตามกิจกรรมต่างๆ ปี 2004
ในหน่วยเทียบเท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ (IPCC, 2007)

จากการศึกษาขององค์ระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญในบรรยากาศ ทั้งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ได้เพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาเพียง 200 ปีที่ผ่านมา (ภาพที่ 2.5) นับตั้งแต่มีการปฏิวัติทางอุตสาหกรรมในยุโรป โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มปริมาณขึ้นจาก 280 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ในปีค.ศ. 1800 และเพิ่มขึ้นเป็น 360 ppm ในปีค.ศ. 2000 เช่นเดียวกับแก๊สมีเทนซึ่งเพิ่มขึ้นกว่าเท่าตัวนับตั้งแต่ ปีค.ศ. 1800 จาก 750 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) เป็น 1,750 ppb ในปีค.ศ.2000 ส่วนแก๊สไนตรัสออกไซด์นั้น เริ่มมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่มีการปฏิวัติการทำเกษตรกรรม แต่อัตราการเพิ่มขึ้นนั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับช่วงหลังปฏิวัติอุตสาหกรรม ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สไนตรัสออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 270 ppm ในราวปีค.ศ.1800 เป็น 310 ppm ในปีค.ศ.2000



ภาพที่ 2.5 ความเข้มข้นของแก๊สเรือนกระจก (CO₂, CH₄, N₂O) ในชั้นบรรยากาศ
ในปี ค.ศ.1000 -2000 (IPCC, 2001)

แก๊สเรือนกระจกที่สำคัญและถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโตมี 6 ชนิด ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic greenhouse gas emission) และมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ศักยภาพในการทำให้ภาวะโลกร้อนของแก๊สเรือนกระจกที่ปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์ (IPCC, 2001) รวมถึงสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแต่ละชนิด (USEPA, 2011)

แก๊สเรือนกระจก	ศักยภาพทำให้โลกร้อน (เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์)	สัดส่วนของปริมาณ แก๊สที่ปลดปล่อย ออกมา (ร้อยละ)
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	1	83
แก๊สมีเทน (CH ₄)	23	10.3
แก๊สไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O)	296	4.5
แก๊สไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	124 – 12,000	2.2
แก๊สเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)	5,700 – 11,900	
แก๊สซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF ₆)	22,200	

- แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเกิดเองตามธรรมชาติ และจากฝีมือมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรม และการตัดไม้ทำลายป่า แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สเรือนกระจกที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมในบรรยากาศของโลกมากที่สุดในบรรดาแก๊สเรือนกระจกชนิดอื่น ๆ ทั้งยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยเปรียบเทียบกับแก๊สเรือนกระจกชนิดอื่นๆ พบว่าสัดส่วนของแก๊สแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมามากถึงร้อยละ 83

- แก๊สมีเทนเป็นแก๊สเรือนกระจกที่เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติและจากฝีมือมนุษย์ มีสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สมีเทนออกมาในบรรยากาศรองจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอันดับ คือ ร้อยละ 10.3 แก๊สมีเทนที่สะสมอยู่ในบรรยากาศในระยะเวลา 2-3 ปี จะเสื่อมสลายกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด แหล่งกำเนิดแก๊สมีเทนมีทั้งในธรรมชาติและจากฝีมือมนุษย์ ได้แก่ แหล่งนาข้าว การย่อยสลายอินทรีย์สาร การเลี้ยงปศุสัตว์ การผลิตและขนส่งถ่านหินและแก๊สธรรมชาติ การเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยแก๊สมีเทนที่ถูกปลดปล่อยออกมาในชั้นบรรยากาศของโลกเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์มากถึงร้อยละ 60 และอีกร้อยละ 40 ที่เหลือจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

สำหรับกิจกรรมของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดก๊าซมีเทน (Karakurt et al., 2011) ได้แก่

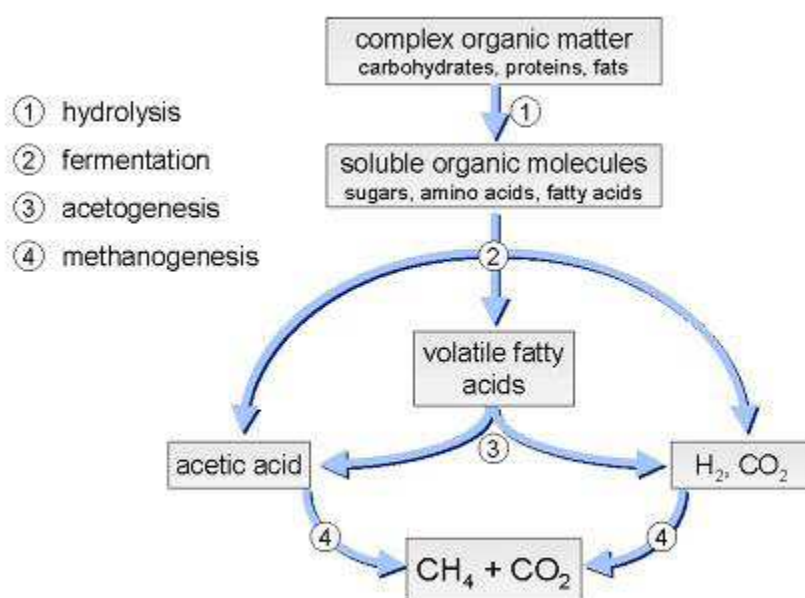
- 1) การทำเกษตรกรรม ร้อยละ 50.63
- 2) การขนส่งและการใช้เชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ร้อยละ 28.65
- 3) การย่อยสลายอินทรีย์สารในสภาวะไร้ออกซิเจน ร้อยละ 20.61
เช่น ขยะ น้ำเสีย
- 4) กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ร้อยละ 0.10

- แก๊สไนตรัสออกไซด์ เป็นแก๊สที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากมหาสมุทรและดินซึ่งอยู่ในภาวะที่สมดุล แต่กิจกรรมของมนุษย์นั้นก่อให้เกิดการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สไนตรัสออกไซด์ในบรรยากาศมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมที่ใช้กรดไนตริกในกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยไนลอน อุตสาหกรรมเคมี หรืออุตสาหกรรมพลาสติกบางชนิดเป็น นอกจากนี้การทำเกษตรกรรม ดังเช่น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ก็ก่อให้เกิดแก๊สชนิดนี้เช่นกัน

- แก๊สที่มีสารประกอบพวกคลอโรฟลูออโรคาร์บอน มีแหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม และอุปกรณ์เครื่องใช้ในชีวิตรประจำวันต่าง ๆ เช่น ตู้ใช้เป็นตัวทำความเย็น ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศ แม้ว่าแก๊สประเภทนี้จะมีปริมาณลดลง 40% เมื่อเทียบกับสิบกว่าปีก่อนหน้านี้ตามมาตรการควบคุมโดยสนธิสัญญามอนทรีออล (Montreal Protocol) แก๊สเรือนกระจกชนิดนี้ก่อให้เกิดอันตรายต่อบรรยากาศ และสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลกมากมาย โดยสามารถรวมตัวทางเคมีได้ดีกับโอโซน จึงทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดน้อยลง หรือเกิดรูรั่วในชั้นโอโซน อันเป็นสาเหตุให้รังสีคลื่นสั้นที่เป็นอันตราย ต่อสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลกส่องผ่านลงมายังพื้นโลกได้มากขึ้น ทั้งยังทำให้รังสีคลื่นสั้นผ่านมาตกกระทบผิวโลกในสัดส่วนที่มากเกินภาวะสมดุล นับเป็นการทำให้ผิวโลกและบรรยากาศร้อนขึ้นโดยทางอ้อม

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น หนึ่งในแหล่งกำเนิดของแก๊สมีเทน คือ แหล่งน้ำทิ้ง โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทิ้งเหล่านี้จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน หากปฏิกิริยาเกิดขึ้นในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Microorganism) ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติและในน้ำทิ้งนั้นจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ จนกลายเป็นกลุ่มเด่น จะปลดปล่อยเอนไซม์เพื่อก่อปฏิกิริยาชีวเคมีให้เปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นแก๊สมีเทน โดยกลไกของการผลิตแก๊สมีเทนโดยแบคทีเรียสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน โดยในขั้นแรกแบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ (ของเสียต่างๆ) ให้มีขนาดเล็กลงให้อยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้

เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน จึงเรียกขั้นตอนนี้ว่าขั้น ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จากนั้น จุลินทรีย์จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ละลายน้ำจากขั้นตอนแรกให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหย (Volatile fatty acid) ขั้นตอนนี้เรียกว่าขั้นการหมัก (Fermentation) หลังจากได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดอินทรีย์ระเหยแล้ว แบคทีเรียชนิดสร้างกรด (Acid forming Bacteria) จะย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยให้กลายเป็นกรดอะเซติก แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกขั้นตอนนี้ว่าขั้นสร้างกรดอะเซติก (Acetogenesis) ขั้นตอนสุดท้ายแบคทีเรียชนิดสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenesis Bacteria) จะย่อยสลายกรดอะเซติก กลายเป็นแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 กลไกการเกิดแก๊สมีเทนในภาวะไร้อากาศ

(Sustainable Development Through Appropriate Technologies, 2011)

นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับสมการแสดงการประมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนจากน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมในหน่วยเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (US EPA, 2010) ซึ่งพบว่าหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยแก๊สมีเทนสู่สิ่งแวดล้อมนั้น คือ ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งที่แสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำทิ้งนั้นด้วย

เมื่อ

$$\text{CO}_2\text{e} = F \times P \times W \times \text{BOD} \times cf \times \text{TA} \times \text{B0} \times \text{MCF} \times \text{GWP} \text{ (US EPA, 2010)}$$

CO_2e = CO_2 equivalent of methane emissions for facilities (tCO_2e)

F = Estimated fraction of facilities (decimal)

P = Total industry production (thousand metric ton/year)

W = Wastewater outflow ($\text{m}^3/\text{metric ton}$)

BOD = Organic matter concentration in untreated wastewater, measured as BOD_5 (kg/m^3)

cf = Factor for conversion of BOD to COD (unitless)

TA = Fraction of wastewater BOD treated anaerobically in secondary treatment (decimal)

B0 = Maximum CH_4 -producing capacity ($\text{kg CH}_4/\text{kg COD}$)

MCF = Methane conversion factor for anaerobic treatment.

GWP = Global warming potential for CH_4

ชีวมวลน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการสภิมนเป็นน้ำทิ้งที่มีองค์ประกอบเป็นสารพวกอินทรีย์ในปริมาณมาก เช่น โปรตีน น้ำตาล ไขมัน เศษยาง หากไม่มีวิธีการจัดการที่ดีในการเก็บรักษาหรือนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป นอกจากจะส่งกลิ่นเหม็นเป็นที่รบกวนแก่ชุมชนใกล้เคียง ยังเป็นอีกแหล่งกำเนิดหนึ่งของแก๊สมีเทนเช่นเดียวกับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ

2.3 อุตสาหกรรมยางในประเทศไทย

2.3.1 สถานการณ์ยางพาราในประเทศไทย

นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2444 ที่ประเทศไทยเริ่มมีการปลูกยางพาราเป็นครั้งแรก และมีการขยายพื้นที่ปลูกอย่างแพร่หลาย จนเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ รวมทั้งครองความเป็นผู้นำในการผลิตและส่งออกยางธรรมชาติของโลกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 และในปัจจุบันประเทศไทยยังคงเป็นผู้นำในการผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก ในปี 2552 มีปริมาณการผลิตมากกว่า 3.16 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 32.91 ของปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลก (ดังตารางที่ 2.4) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางรวมทั้งสิ้น 16.89 ล้านไร่ โดยภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกรวมภาคกลาง และภาคเหนือตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 การผลิต การส่งออกยางธรรมชาติของประเทศไทย ปี 2548 – 2552
(สถาบันวิจัยยาง, 2553)

	ปริมาณยางธรรมชาติ (ตัน)				
	2548	2549	2550	2551	2552
การผลิต	2,937,158	3,136,993	3,056,005	3,089,751	3,164,379
การใช้	334,646	320,885	373,659	397,595	399,415
การส่งออก	2,632,398	2,771,673	2,703,762	2,675,283	2,726,193

การส่งออกยางธรรมชาติของไทยส่วนใหญ่ส่งออกในรูปของวัตถุดิบ ได้แก่ ยางแท่ง ยางแผ่นรมควัน น้ำยางข้น ผลิตภัณฑ์ยาง ไม้ยางพาราแปรรูป และผลิตภัณฑ์ไม้ ซึ่งสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรชาวสวนยาง ตลอดจนอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องมากมาย ยางพาราจึงมีบทบาทสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของเกษตรกรชาวสวนยางกว่า 1 ล้านครอบครัว ซึ่งเป็นเกษตรกรรายย่อย และสวนยางขนาดเล็กถึงร้อยละ 95 ของสวนยางทั่วประเทศ

แม้ประเทศไทยจะส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก แต่เป็นการส่งออกของวัตถุดิบ ถึงร้อยละ 86.15 ของปริมาณยางที่ผลิตได้ทั้งหมด ทำให้ไม่เกิดมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้ายาง ต้องพึ่งพาสถานที่ต่างประเทศที่ส่งออก ทำให้ราคายางไม่มีเสถียรภาพ และมีความผันผวนไปตามตลาดต่างประเทศ เมื่อพิจารณาชนิดของยางที่ใช้ในประเทศพบว่า เป็นยางแผ่นรมควันมากที่สุด รองลงมาเป็นน้ำยางข้น ยางแท่งเอสทีอาร์และยางแผ่นผึ่งแห้ง ตามลำดับ

2.3.2 การปลูกยางในประเทศไทย

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางทั้งสิ้น 16,889,686 ไร่ ในปี 2551 โดยภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดประมาณ 11,339,658 ไร่ จังหวัดที่มีการปลูกยางมากที่สุดในประเทศ คือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี หลังจากนั้นมีการขยายพื้นที่การปลูกยางใหม่มายังภาคอื่นๆ ของประเทศ คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2,845,542 ไร่ ภาคตะวันออกรวมภาคกลาง 2,103,908 ไร่ และภาคเหนือ 600,578 ไร่ ตามลำดับ แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการปลูกยางมากกว่าพื้นที่เดิม เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณน้ำฝน และการกระจายของฝนและบางพื้นที่เป็นที่สูง แต่เนื่องจากยางพาราสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี จึงสามารถปลูกยางในเกือบทุกภาคของประเทศ

สำหรับต้นยางในภาคใต้เปิดกรีดได้เมื่ออายุ 6 ปีครึ่ง และให้ผลผลิตเฉลี่ย 285 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ขณะที่ต้นยางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเปิดกรีดช้ากว่าอย่างน้อย 6 เดือน และให้ผลผลิตยางเฉลี่ย 221 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี สำหรับต้นยางในภาคเหนือให้ผลผลิตเฉลี่ย 260 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี โดยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการปลูกยางที่ดีที่สุด จะต้องเป็นมีปริมาณน้ำฝนไม่ต่ำกว่า 1,250 มิลลิเมตรต่อปี มีวันฝนตก 120-150 วัน ช่วงแล้งไม่เกิน 4 เดือน และมีอุณหภูมิ 26-30 องศาเซลเซียส (สถาบันวิจัยยาง, 2553) ฤดูที่เหมาะสมในการกรีดยางมากที่สุดคือ ฤดูหนาว เพราะความหนาวจะทำให้น้ำยางแข็งตัวช้าลง จึงทำให้ระยะเวลาที่น้ำยางไหลนานขึ้น และการเปิดกรีดในช่วงนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำยางเป็นโรค

สำหรับตลาดยางพาราเพื่อการส่งออกเป็นตลาดของผู้ซื้อ เนื่องจากมีผู้ซื้อจำนวนมากน้อยราย ขณะที่เกษตรกรหรือผู้ขายซึ่งมีจำนวนมากมาย และส่วนมากเป็นเจ้าของสวนยางขนาดเล็ก

ตลาดภายในประเทศ เกษตรกรชาวสวนยางจะขายยางในรูปแบบของน้ำยางสด ยางแผ่นดิบและชี้อย่าง ให้กับพ่อค้าคนกลางในท้องถิ่น จากนั้นพ่อค้าคนกลางจะนำยางไปขายให้กับตลาดกลางยางพารา โรงงานรมควันและโรงงานยางแผ่นผึ่งแห้ง หรือเกษตรกรนำยางไปขายให้กับตลาดกลางและโรงงานโดยตรง ราคาภายในประเทศถูกกำหนดจากตลาดหลักของโลก โดยเฉพาะตลาดสิงคโปร์และมาเลเซีย โดยผ่านผู้ซื้อรายใหญ่ต่างประเทศไม่กี่บริษัท กำหนดราคารับซื้อโดยใช้ราคา F.O.B. ของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ที่คาดว่าจะขายได้ หักด้วยค่าใช้จ่ายในการส่งออก ค่าอากรขาออก และค่าสงเคราะห์การปลูกแทน

ตลาดต่างประเทศที่สำคัญ เช่น ตลาดญี่ปุ่น สิงคโปร์ จีน ลอนดอน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ยุโรป เป็นต้น ผู้ขายทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ปัจจุบันมีการซื้อขายผ่านตลาดกลางประมาณร้อยละ 30 เท่านั้น นอกนั้นเป็นการซื้อขายโดยตรง ระหว่างผู้ซื้อซึ่งมักเป็นโรงงานผลิตภัณฑ์ยาง เช่น ผู้ผลิตยางรถยนต์และยางอื่นๆ กับผู้ส่งออกยางพารา

2.3.3 การผลิตยางในประเทศไทย

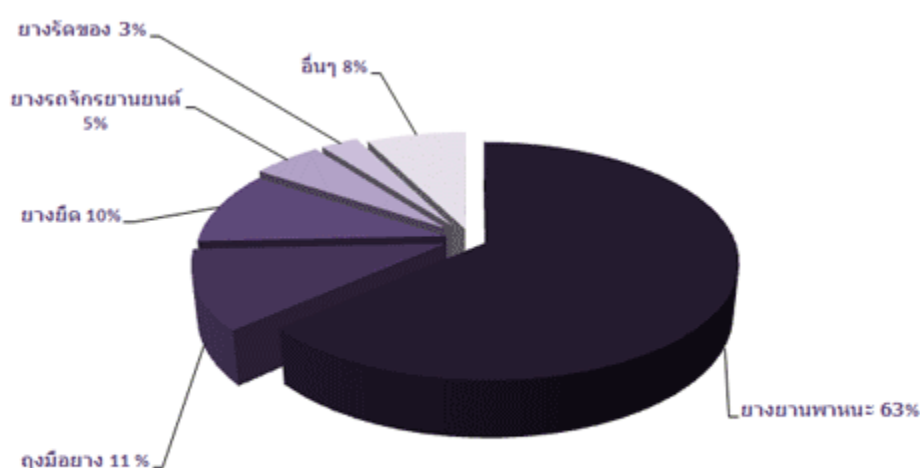
ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติรายใหญ่ที่สุดของโลก คิดเป็นร้อยละ 34 ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดของโลก เป็นมูลค่าถึง 5.4 พันล้านเหรียญสหรัฐ แต่นำผลิตภัณฑ์ยางไปใช้ในอุตสาหกรรมเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น ผลิตภัณฑ์ยางที่ทำได้จึงส่งออกสร้างมูลค่ามหาศาลให้แก่ประเทศ ส่วนผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เหลือมีการจำหน่ายภายในประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศทั้งในด้านของการจ้างงานอีกด้วย

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑฺ์ยาง มีจำนวนทั้งสิ้น 524 โรงงาน โรงงานส่วนใหญ่ ประมาณร้อยละ 52 จะตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล นอกนั้นจะกระจายตัวอยู่ในภาคต่าง ๆ อัตราการผลิตยางธรรมชาติเพื่อผลิตผลิตภัณฑฺ์ทั้งสิ้นประมาณ 250,000 ตัน โดยผลิตภัณฑฺ์ยางที่ใช้ยางธรรมชาติมากที่สุด 6 อันดับแรก คือยางล้อรถยนต์ ถู่มือยาง สายยางยืด ยางรัดของ ยางล้อรถจักรยานยนต์ รองเท้า

การผลิตยางในไทยแบ่งเป็น 2 กลุ่มอุตสาหกรรม ดังนี้

1) ยางแปรรูปขั้นต้น ได้แก่ น้ำยางข้น ยางแผ่นรมควัน ยางอบแห้ง และยางแท่ง ซึ่งตลาดต้องการมากที่สุดคือยางแท่ง และยางแผ่นรมควัน เพราะยางทั้งสองชนิดนี้นำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์

2) ผลิตภัณฑฺ์ยาง ผลิตภัณฑฺ์ที่ประเทศไทยผลิตนั้นยังแยกออกเป็น 2 ประเภทคือ ยางยานพาหนะหรือยางวงล้อ และผลิตภัณฑฺ์ยางที่ไม่ใช่ยางวงล้อ โดยสัดส่วนการใช้ยางในแต่ละอุตสาหกรรม แบ่งเป็นยางยานพาหนะร้อยละ 63 ถู่มือยางร้อยละ 11 ยางยืดร้อยละ 5 ยางรัดของร้อยละ 3 และยางอื่นๆ ร้อยละ 8 ดังภาพที่ 2.7 การที่มีการผลิตยานพาหนะมากที่สุด เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมเกี่ยวเนื่อง และมีการสนับสนุนและผลักดันจากนโยบายของรัฐบาล



ภาพที่ 2.7 สัดส่วนการผลิตผลิตภัณฑฺ์จากยางธรรมชาติในประเทศไทย (สถาบันวิจัยยาง, 2553)

2.3.4 ภาพรวมด้านการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมยาง

เมื่อพิจารณาจากขั้นตอนของอุตสาหกรรมเริ่มตั้งแต่เป็นน้ำยางพาราสดจนกระทั่งกลายเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่นำไปใช้งานจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วงใหญ่ๆ ด้วยกัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550) ดังนี้

1) ช่วงที่ 1: ต้นน้ำ

เป็นการผลิตน้ำยางจากสวนยางในกลุ่มนี้ไม่นับเป็นอุตสาหกรรม แต่หมายถึงเกษตรกรหรือชาวสวนยางพาราและมีนัยสำคัญของการใช้พลังงานน้อยมาก

2) ช่วงที่ 2: กลางน้ำ

เป็นกลุ่มที่รับเอาวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมต้นน้ำมาทำการแปรรูปขั้นต้นก่อนที่จะนำส่งไปยังอุตสาหกรรมปลายน้ำเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ในส่วนนี้ นับเป็นอุตสาหกรรมและการใช้พลังงานเริ่มมีนัยสำคัญ

3) ช่วงที่ 3: ปลายน้ำ

เป็นกลุ่มที่รับเอาวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมกลางน้ำมาทำการแปรรูปขั้นสุดท้ายเพื่อที่จะจัดจำหน่ายแก่ผู้บริโภคในส่วนนี้ นับเป็นอุตสาหกรรมเช่นกันและส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดกลางและใหญ่ มีการใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและความร้อนในปริมาณสูง

4) ช่วงที่ 4: การนำกลับมาใช้ (Recycle)

เป็นกลุ่มที่รับเอาผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้แล้วกลับมาผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้เพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมยางหรืออุตสาหกรรมประเภทอื่น โดยในประเทศไทยพบว่าโรงงานแปรรูปสำหรับนำยางเก่ากลับมาใช้ใหม่โดยตรงนั้นยังไม่ปรากฏส่วนใหญ่กระบวนการนี้จะเป็นส่วนหนึ่งอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมยางโดยทั่วไปมากกว่า

สำหรับอุตสาหกรรมยางจะมีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและความร้อนซึ่งชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรมยาง ได้แก่ เบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ไอน้ำและไอน้ำความดันสูง น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินนำเข้า ชีเลื่อย ฟืน และ แกลบ ซึ่งรูปแบบการใช้พลังงานและชนิดของเชื้อเพลิงจะต่างกันออกไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับเทคโนโลยีที่ใช้ ในอุตสาหกรรมยางต้นน้ำส่วนใหญ่แล้วจะเป็นระดับของชาวสวนซึ่งใช้แรงงานเป็นหลัก ถัดมาเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปยางพื้นฐานเช่น การทำยางแผ่นยางแท่ง เป็นอุตสาหกรรมระดับครอบครัว การใช้พลังงานยังถือว่ามีความน้อย ส่วนใหญ่แล้วจะใช้เศษฟืนและไม้ในการอบรมควัน การใช้พลังงานทั้งความร้อนและไฟฟ้าจะมีสัดส่วนและสำคัญ

มากยิ่งขึ้นในระดับที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่ๆ จำพวกอุตสาหกรรมแปรรูปยางพื้นฐานเป็นผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในแต่ละกลุ่มย่อยของอุตสาหกรรมยาง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

กลุ่มอุตสาหกรรม	สัดส่วนการใช้พลังงาน (ร้อยละ)	
	ไฟฟ้า	ความร้อน
กลุ่มยางแผ่น	16.08	83.92
กลุ่มยางแท่ง	58.12	41.88
กลุ่มยางน้ำข้น	86.55	7.49
กลุ่มยางล้อ	56.87	43.54
กลุ่มผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ Dipping	29.50	70.50
กลุ่มผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ Extruding	45.48	54.52
กลุ่มผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ Forming	66.35	33.35
กลุ่มผลิตภัณฑ์จากกระบวนการอื่นๆ	80.39	19.61

สำหรับกลุ่มยางแผ่นมีการใช้พลังงานความร้อนเป็นหลัก คือมากกว่าร้อยละ 80 ใช้ในกระบวนการอบรมควันยางให้แห้ง ในกลุ่มยางแท่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าใช้ในเครื่องจักรจำพวกเครื่องบด เครื่องตัดและเครื่องอัดแท่ง ส่วนความร้อนใช้ในกระบวนการอบยางให้แห้ง ส่วนกลุ่มน้ำยางข้นนั้นจะมีสัดส่วนการใช้พลังงานที่ผกผันกับกลุ่มยางแผ่นอย่างเห็นได้ชัดคือ มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าร้อยละ 80 ที่สูญเสียไปกับเครื่องปั่นแยกน้ำยาง สำหรับสัดส่วนการใช้พลังงานของกลุ่มยางล้อมีการใช้พลังงานเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันคือพลังงานไฟฟ้าใช้ในกระบวนการบดผสม ส่วนพลังงานไฟฟ้าใช้มากในขั้นตอนการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการที่ต่างกันคือ กระบวนการ Dipping Extruding และ Forming ก็ส่งผลให้มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่ต่างกันด้วย เช่นในกระบวนการ Dipping พลังงานความร้อนถูกใช้มากที่สุด ในขั้นตอนของการอบยางให้สุก ส่วนกระบวนการ Forming มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักเนื่องจากในขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จะใช้วิธีการอัดพิมพ์โดยใช้พลังงานไฟฟ้าในมอเตอร์ขับเคลื่อน ส่วนกระบวนการ Extruding มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากมีการใช้ทั้ง

พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในทุกขั้นตอน โดยที่พลังงานไฟฟ้าใช้มากที่สุดไดนามอเตอร์ขับเคลื่อน รีดยาง ส่วนผลิตภัณฑ์จากกระบวนการอื่นๆ ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการเตรียมส่วนผสมเพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อีกต่อหนึ่ง เช่น ยางคอมปาวน์ ดังนั้นจึงใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักในเครื่องบดผสมยาง

2.4 การผลิตน้ำยางข้น

อุตสาหกรรมน้ำยางข้นเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำยางสดที่ได้จากต้นยางพาราให้เป็นน้ำยางข้นเพื่อเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ เช่น กุ้งมือยาง ยางรถยนต์ ของเล่นเด็ก อุปกรณ์ทางการแพทย์ สิ่งทออุตสาหกรรม ชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น ปกติน้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางพารามีปริมาณเนื้อยางเพียง 33% นอกนั้นจะเป็นน้ำและของแข็งที่ไม่ใช่ยาง (ตารางที่ 2.6) การนำน้ำยางไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในโรงงานซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ไกลจากสวนยางหรือแหล่งยางธรรมชาติ จึงไม่สะดวกการขนส่งและการซื้อขาย นอกจากนี้ยังมีสารบางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยาง เช่น แมกนีเซียม ถ้าไม่กำจัดออกอาจมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ยางไม่ได้คุณภาพ ดังนั้นจึงต้องทำให้น้ำยางสดอยู่ในรูปของน้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content: DRC) อย่างน้อยร้อยละ 60 เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป

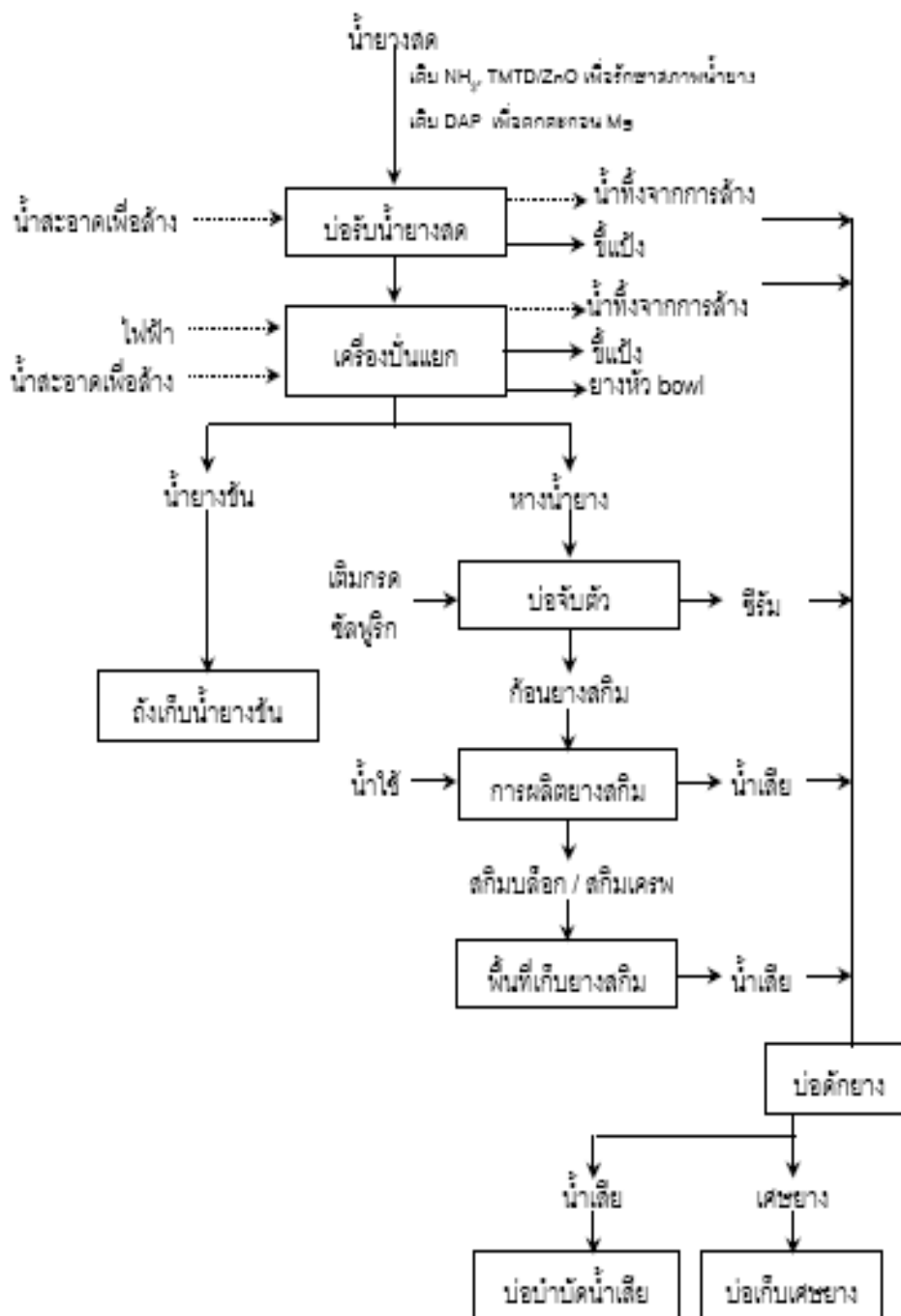
ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตร
ของแข็งทั้งหมด	36
เนื้อยางแห้ง	33
สารพวกโปรตีน	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-2.5
ซีเถ้า	1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

2.4.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

การผลิตน้ำยางข้นนั้นสามารถทำได้ 4 วิธี คือ วิธีระเหยด้วยน้ำ (evaporation), วิธีทำให้เกิดครีม (creaming), วิธีปั่นแยก (centrifuging) และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation) สำหรับการผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทยนิยมใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงเพื่อแยกน้ำและสารอื่นๆที่ละลายอยู่ในน้ำออกไปบางส่วน (ภาพที่ 2.8) และเนื่องด้วยน้ำยางสดจะเกิดการเสียสภาพการเป็นของเหลวและจับตัวแข็งภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมงหลังจากถูกกรีดออกจากต้นยางพารา จึงต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางสดด้วยสารเคมีบางชนิด เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และ เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD) เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน รวมทั้งไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAP) เพื่อให้แมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางตกตะกอนเป็นซีไประง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) หลังจากน้ำยางผ่านกระบวนการปั่นแยกจะถูกแยกเป็นสองส่วน ได้แก่ น้ำยางข้น และหางน้ำยางซึ่งมีความเข้มข้นของเนื้อยางเป็น 60% และ 5% ตามลำดับ

หางน้ำยางที่ออกจากเครื่องแยกจะเข้าสู่กระบวนการสกิม โดยปล่อยให้หางน้ำยางไหลไปตามรางยาวๆ แล้วเติมกรดซัลฟิวริกลงไปในหางน้ำยางนั้นเพื่อให้ก้อนยางที่เหลือจับตัวขึ้นมาอีกครั้ง แล้วผ่านเครื่องตัดย่อยเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ จากนั้นอัดเป็นบล็อกเพื่อจัดจำหน่าย เรียกว่า ยางสกิมเครฟ ซึ่งเป็นยางแห้งคุณภาพต่ำ สามารถนำไปผลิตเป็นजूखवद กาว พื้นรองเท้า เป็นต้น ส่วนของน้ำที่เหลือจากกระบวนการสกิม เรียกว่า ซีรัมน้ำทิ้ง ซึ่งจะรวมกับน้ำทิ้งอื่นๆ เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานต่อไป



ภาพที่ 2.8 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

กระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะใช้ทั้งพลังงานความร้อนและไฟฟ้าในกิจกรรมต่างๆ โดยพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 87 ของพลังงานทั้งหมด ส่วนที่เหลือจะเป็นพลังงานความร้อนจาก LPG, Diesel และ ฟืน ดังแสดงในตารางที่ 2.7 พลังงานไฟฟ้าถูกใช้ทั้งในสายการผลิต เช่น การปั่นแยกน้ำยาง บีมน้ำ พัดลม การกวนในถังเก็บน้ำยาง อีกทั้งใช้ในสำนักงาน และระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ตารางที่ 2.7 สัดส่วนของประเภทพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

ประเภทพลังงาน	ชนิดของพลังงาน	อัตราส่วนร้อยละพลังงาน
ไฟฟ้า	ไฟฟ้า	86.55
LPG	ความร้อน	2.70
Diesel	ความร้อน	2.70
ฟืน	ความร้อน	2.08

สำหรับระบบบำบัดน้ำทิ้งในโรงงานผลิตน้ำยางข้นโดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ระบบบ่อหมักร่วมกับการใช้บ่อเติมอากาศ แม้ว่าจะเป็นระบบที่ค่าใช้จ่ายน้อยในการเดินระบบ แต่ต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้ามากเนื่องจากการใช้อุปกรณ์เครื่องเติมอากาศลงในน้ำทิ้งเหล่านั้น (กิติพงษ์ หลงสะ, 2553) เพื่อลดบีโอดีของน้ำทิ้งภายในโรงงานซึ่งมีค่าสูงถึง 4,430 – 6,900 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2548; Danteravaich et al., 2009) ให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมโรงงานก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอุปกรณ์เติมอากาศในระบบบำบัดน้ำทิ้งเพื่อลดค่าบีโอดีจึงมีมากตามค่าบีโอดีไปด้วย และเมื่อพิจารณาแหล่งน้ำทิ้งต่างๆ ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น อันได้แก่ น้ำล้างทำความสะอาดเครื่องจักร น้ำล้างพื้น น้ำจากการเติมสารเคมีเพื่อให้น้ำยางจับตัวหรือการปั่น และซีรัมน้ำทิ้งจากกระบวนการสกิม พบว่าบีโอดีของซีรัมน้ำทิ้งมีค่าสูงที่สุดประมาณ 13,670 – 27,650 มิลลิกรัมต่อลิตร (กัลยา ศรีสวรรณ, 2540; Abraham et al., 2009) อาจกล่าวได้ว่า ซีรัมน้ำทิ้งเป็นแหล่งน้ำทิ้งที่สาเหตุหลักของการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้นมากที่สุด

2.4.2 ของทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

กระบวนการผลิตน้ำยางข้น นอกเหนือจากปริมาณผลผลิตน้ำยางข้นซึ่งเป็นผลผลิตหลักจากการผลิตแล้ว ยังมีของทิ้งเกิดขึ้นอีกด้วย ทั้งที่ในรูปกากซีเมนต์และน้ำทิ้ง

นอกจากนี้ยังมีของเสียทั้งในส่วนที่เป็นของแข็ง หรือกากของเสีย และของเหลวหรือน้ำทิ้ง เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ได้แก่

1) กากซีเมนต์ เป็นของเสียในรูปของแข็ง ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพและทางเคมีดังตารางที่ 2.9 โดยเป็นของเสียเกิดจากกระบวนการตกตะกอนเมกนีเซียมในน้ำยางสด และมีปริมาณมาก โดยส่วนใหญ่โรงงานมักกำจัดโดยการนำไปทิ้ง เมาหรือนำไปถมที่

จากรายงานการวิจัยและคุณสมบัติของกากซีเมนต์ พบว่ามีปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหรือเป็นวัสดุปรับปรุงดินเพื่อช่วยปรับสภาพให้ดินมีค่าพีเอชเป็นกลาง

2) น้ำทิ้ง ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นนั้น มีขั้นตอนที่ก่อให้เกิดน้ำทิ้งจำนวนมาก มีกลิ่นเน่าเหม็นยากต่อการจัดการ อีกทั้งยังสร้างปัญหาให้กับชุมชนใกล้เคียง โดยน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นนั้นมาจากหลายแหล่ง และมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 สมบัติของน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ (Danteravaich et al., 2009)

พารามิเตอร์	น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น	น้ำทิ้งจากกระบวนการสกิม	น้ำทิ้งรวมของโรงงานผลิตน้ำยางข้น
pH	7.98 – 8.14	3.69 – 3.97	4.45 – 4.90
อุณหภูมิ (°C)	27.5 – 28.6	28.2 – 28.9	28.2 – 28.3
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ล)	1,860 – 2,160	680 – 950	120 – 1,230
ค่าซีไอดี (มก./ล)	8,193 – 9,016	10,764 – 13,988	9,476 – 10,714
ค่าบีไอดี (มก./ล)	2,400 – 2,880	7,950 – 11,100	6,450 – 6,900
ซัลเฟต (มก./ล)	916 – 1,100	4,335 – 5,147	4,092 – 4,930

กระบวนการผลิตน้ำยางชั้นนั้น สามารถจำแนกแหล่งการเกิดน้ำทิ้งได้ ดังนี้

2.1) ขั้นตอนการผลิตน้ำยางชั้น

2.1.1) บ่อรับน้ำยางสด

- น้ำล้างทำความสะอาดรถบรรทุกน้ำยางสดของชาวสวน
- น้ำล้างทำความสะอาดบ่อรับน้ำยาง
- น้ำทิ้งจากการล้างทำความสะอาดน้ำยางสดขณะถ่ายน้ำยางลงบ่อรับน้ำยางสด

2.1.2) การปั่นยาง

- น้ำล้างหัวปั่นน้ำยาง ต้องล้างทุก 2-3 ชั่วโมงเนื่องจากการอุดตันของหัวปั่นน้ำยางและการอุดตันของซี่ยางที่ท่อยางน้ำยาง
- น้ำทิ้งจากการล้างน้ำยางที่ล้นจากเครื่องปั่นน้ำยางระหว่าง

กระบวนการปั่นยาง

2.1.3) ถังน้ำยางชั้น

- น้ำจากการล้างทำความสะอาดถัง เพื่อลดการปนเปื้อนของน้ำยางชั้น

2.2) กระบวนการสกิม

2.2.1) น้ำจากเครื่องรีดยางเป็นน้ำที่ฉีดพ่นในการรีดยางเพื่อล้างกรด

ซัลฟูริกที่ติดอยู่ที่ยางสกิมเพื่อให้ยางสกิมที่ได้มีคุณภาพดี

2.2.2) น้ำล้างจากการทำฝอยเป็นน้ำที่ฉีดสู่ถาดรับยางฝอยเพื่อรักษา

สภาพยางฝอยให้เหมาะก่อนเข้าถาดอบแห้ง

2.2.3) ซีรัมน้ำทิ้ง คือ ส่วนน้ำที่เหลือจากการแยกเนือยางออกจาก

หางน้ำยางโดยการเติมกรดซัลฟูริกลงไปโดยซีรัมน้ำทิ้งมีปริมาณเนือยาง 4-6%

สัดส่วนของน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นประกอบด้วยน้ำล้างเครื่องปั่นยางร้อยละ 58 น้ำล้างพื้นและอื่นๆ ร้อยละ 18 และซีรัมน้ำทิ้งจากกระบวนการสกิม ร้อยละ 24 ของปริมาณน้ำทิ้งทั้งหมดของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) โดยน้ำทิ้งที่กล่าวมาทั้งหมดจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งต่อไป

กระบวนการผลิตยางสกิมเคิร์ฟซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำยางชั้นนั้น ระหว่างกระบวนการมีน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีสูงเกิดขึ้นและสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น ประกอบไปด้วยน้ำล้างต่างๆ และซีรัมน้ำทิ้งที่เกิดจากการจับตัวเนือ

ยางด้วยกรดซัลฟิวริกในกระบวนการสกิม โดยซีรัมน้ำทิ้งนั้นมีค่าบีโอดีสูงถึง 13,670 – 27,650 มิลลิกรัมต่อลิตร (กัลยา ศรีสุวรรณ, 2540; Vimalamma et al., 2009) ส่งผลให้เมื่อซีรัมน้ำทิ้งปนเปื้อนไปกับน้ำทิ้งส่วนอื่นๆ ในกระบวนการสกิม จึงทำให้ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากการผลิตยางสกิมสูงกว่าน้ำทิ้งจากการผลิตน้ำยางชั้น โดยสัดส่วนของน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นประกอบด้วยน้ำล้างเครื่องปั้นยางร้อยละ 58 น้ำล้างพื้นและอื่นๆ ร้อยละ 18 และซีรัมน้ำทิ้งจากกระบวนการสกิม ร้อยละ 24 ของปริมาณน้ำทิ้งทั้งหมดของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ซึ่งน้ำทิ้งที่กล่าวมาทั้งหมดจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งต่อไป

สำหรับระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นมีด้วยกันทั้งหมด 6 ระบบ (กิติพงษ์ หลงสะ, 2553) ดังนี้

ระบบที่ 1 บ่อหมักร่วมกับบ่อกึ่งหมัก เป็นระบบที่เสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ แต่ใช้พื้นที่มาก มีกลิ่นเหม็น

ระบบที่ 2 บ่อหมักร่วมกับบ่อเติมอากาศ เป็นระบบที่เสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำแต่เสียค่าไฟฟ้าสูง

ระบบที่ 3 ระบบเอเอสแบบเติมอากาศในบ่อดิน ระบบนี้ไม่มีกลิ่นเหม็นและใช้พื้นที่ในการบำบัดน้อย แต่เสียค่าไฟฟ้าสูง

ระบบที่ 4 ระบบเอเอสแบบเติมอากาศในบ่อคอนกรีต ระบบนี้ไม่มีกลิ่นเหม็นใช้พื้นที่ในการบำบัดน้อย แต่เสียค่าไฟฟ้าและค่าก่อสร้างระบบสูง

ระบบที่ 5 ระบบถังหมักไร้อากาศร่วมกับระบบเอเอส เป็นระบบที่ไม่มีกลิ่นเหม็นใช้พื้นที่น้อย เสียค่าไฟฟ้าต่ำ แต่ค่าก่อสร้างสูง ระบบซับซ้อนดังนั้นจึงต้องอาศัยผู้ชำนาญในการเดินระบบ

ระบบที่ 6 ระบบยูเอเอสบี เป็นระบบที่มีการลงทุนค่อนข้างสูง ใช้ตะกอนแบคทีเรียบำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นและช่วยลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของการใช้ไฟฟ้า

อย่างไรก็ตามโรงงานส่วนใหญ่นิยมใช้ระบบที่ 2 คือ ระบบบ่อหมักร่วมกับบ่อเติมอากาศเพราะมีต้นทุนต่ำ แม้จะเสี่ยงต่อการเกิดกลิ่นเหม็นและน้ำทิ้งอาจไม่ได้คุณภาพ แต่ก็สามารถพัฒนาโดยนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้บำบัดน้ำทิ้งโดยการใช้น้ำหนักชีวภาพเพื่อลดกลิ่นเหม็น หรือใช้ร่วมกับสารเคมีอื่นๆ ที่เหมาะสม

2.4.3 ซีรัมน้ำทิ้ง

กระบวนการผลิตน้ำยางข้นเป็นการทำให้น้ำยางสดอยู่ในรูปของน้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content: DRC) อย่างน้อยร้อยละ 60 เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางอื่นๆ ต่อไป ส่วนของเหลวที่เหลือจากกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า หางน้ำยางหรือซีรัมน้ำยางพารา ที่มี DRC ร้อยละ 4-6 (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) จะเข้าสู่กระบวนการสกิมเพื่อจับตัวเนื้อยางที่เหลืออีกร้อยละ 4-6 นั้นกลับมาอีกครั้งด้วยกรดซัลฟิวริก ซึ่งซีรัมน้ำยางพาราส่วนที่เหลือจากการสกิม (ซีรัมน้ำทิ้ง) จะถูกรวบรวมและเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานต่อไป

ซีรัมน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก เช่น เกลือของแอมโมเนีย ไปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน (จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์, 2548; Thongmak et al., 2009; Abraham et al., 2009) จึงเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วทำให้มีกลิ่นเหม็นอย่างรุนแรง ส่งผลให้น้ำทิ้งรวมของโรงงานผลิตน้ำยางข้นมีค่าบีโอดีสูง เนื่องจากซีรัมน้ำทิ้งจะรวมตัวกับน้ำทิ้งส่วนอื่นๆ และเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงาน นอกจากนี้ยังพบว่า ซีรัมน้ำทิ้งยังมีแร่ธาตุต่างๆ เป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 2.9 ตารางที่ 2.10 และตารางที่ 2.11)

ตารางที่ 2.9 ปริมาณธาตุอาหารในซีรัมน้ำทิ้ง (Sharifuddin and Zaharah, 2009)

Element	Concentration (mg/kg)
Nitrogen	718
Phosphorus	43
Potassium	461
Magnesium	28
Calcium	133
Zinc	0.63
Copper	0.20

ตารางที่ 2.10 องค์ประกอบทางเคมีของซีรัมน้ำทิ้ง (กรองแก้ว สาครรัตน์, 2545)

องค์ประกอบทางเคมี	ความเข้มข้น (ppm)
ไนโตรเจนทั้งหมด (%) ^a	0.725
แอมโมเนียไนโตรเจน	4,727
ฟอสเฟต	72
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	3,469
ซัลเฟต	15.77
แคลเซียม	4.15
แมกนีเซียม	26.85
สังกะสี	154
ทองแดง	0.054
เหล็ก	1.66
แมงกานีส	0.16

ตารางที่ 2.11 ธาตุอาหารในซีรัมน้ำทิ้ง (นฤมล ทิมทอง, 2551)

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้น (mg/kg)
ไนโตรเจนทั้งหมด (%) ^a	0.57
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	50
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	140
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	207
สังกะสี	1.05

หมายเหตุ: ^a หน่วยของไนโตรเจนทั้งหมด คิดเป็น %

จากผลการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีการนำซีรัมน้ำทิ้งจากกระบวนการ สกิมมาใช้ประโยชน์ในแง่การใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับพืช เช่น เพาะเห็ดนางฟ้า (รุจิรัตน์ ภากรศิลป์, 2542), ปลูกข้าว (กรองแก้ว สาครรัตน์, 2545), ปลูกต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะ อนุบาลแรก (นฤมล ทิมทอง, 2551) เพราะ นอกจากจะมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์แล้ว ยังมี องค์ประกอบของธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืชเช่นกัน ดังเช่น ไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส

แมกนีเซียม สังกะสี (นฤมล ทิมทอง, 2551: Vimalamma et al., 2009) อย่างไรก็ตามการนำซีรัม น้ำทิ้งไปใช้ประโยชน์ยังคงมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ มีการเสื่อมสภาพในเวลาอันรวดเร็วและส่งกลิ่นเหม็น เนื่องมาจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์จึงเก็บรักษาได้ยาก ทำให้การใช้ประโยชน์จากซีรัม น้ำทิ้งยังคงมีข้อจำกัด เช่น ต้องเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำ ไม่สะดวกในการขนส่งในระยะทางไกล เป็นต้น

2.5 การเสื่อมสภาพและการรักษาสภาพของสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ (organic compound) คือ สารที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และมีธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบร่วม เช่น ธาตุ O, N, P, S, Cl, และ Br เป็นต้น กล่าวได้ว่า สารอินทรีย์ คือสารประกอบของคาร์บอนนั่นเอง สำหรับสารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อชีวิตของมนุษย์ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เป็นต้น

2.5.1 การเสื่อมสภาพของสารอินทรีย์ (Food Network Solution Co., Ltd. 2010)

การเสื่อมสภาพของสารอินทรีย์ คือ การเสื่อมหรือลดลงของคุณค่าและคุณภาพทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสทำให้เกิดลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ โดยมีหลายสาเหตุด้วยกัน ได้แก่

1) การเสื่อมสภาพทางจุลินทรีย์

การเสื่อมสภาพทางจุลินทรีย์เป็นสาเหตุหลักของการเน่าเสีย จุลินทรีย์เหล่านั้นได้แก่ แบคทีเรีย รา ยีสต์ ที่เพิ่มจำนวนขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ทำให้คุณภาพและคุณค่าเปลี่ยนไปจนไม่เป็นที่ยอมรับ เช่น เกิดกรดอินทรีย์ ทำให้มีรสเปรี้ยว เกิดสารระเหยที่มีกลิ่น เกิดฟอง แก๊ส เปลี่ยนสี การเกิดเมือกที่ผิวสัมผัส

2) การเสื่อมสภาพทางกายภาพ

การเสื่อมสภาพทางกายภาพเป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากแรงทางกายภาพ เช่น การแตกหัก การซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแรงกล ได้แก่ แรงการกระแทก แรงอัด แรงเฉาะระหว่างระหว่างการเก็บเกี่ยวการขนส่ง การแปรรูป และการเก็บรักษา ซึ่งการเสื่อมสภาพทางกายภาพเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ต่อไป การเสื่อมสภาพทางกายภาพนั้นอาจเกิดเนื่องมาจากการแปรรูป เช่น การแช่แข็ง (Freezing) ซึ่งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่แทงเซลล์ให้ฉีกขาดเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เสื่อมสภาพจากจุลินทรีย์ได้อีกเช่นกัน

3) การเสื่อมสภาพทางเอนไซม์

เอนไซม์ (Enzyme) เป็นโปรตีนที่พบในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในเซลล์ และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เช่น การสลายโมเลกุลของสารอาหารที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง รวมทั้งเร่งการสังเคราะห์สารต่างๆภายในเซลล์ เมื่อพืชและสัตว์ถูกเก็บเกี่ยวหรือฆ่าเพื่อนำมาใช้เป็นอาหาร เอนไซม์ที่ยังคงทำหน้าที่อยู่และยังคงเกิดการเร่งการสลายโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่น เร่งให้ผลไม้สุก สีเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลือง เปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลทำให้ผลไม้รสหวานและมีเนื้อนิ่ม

4) การเสื่อมสภาพทางเคมี

การเสื่อมสภาพทางเคมี เป็นการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารอินทรีย์ด้วยกันเอง หรือสารอินทรีย์กับสภาวะแวดล้อม การเสื่อมสภาพทางเคมี ได้แก่ การเปลี่ยนสี เกิดการเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

2.5.2 การรักษาสภาพสารอินทรีย์

การรักษาสภาพสารอินทรีย์นั้นมีจุดประสงค์หลักคือ การเก็บรักษาไว้ให้นานที่สุดโดยไม่เกิดการเสื่อมสภาพ ส่วนใหญ่การเสื่อมสภาพนั้นมีสาเหตุหลักมาจากจุลินทรีย์ วิธีการรักษาสภาพสารอินทรีย์ในปัจจุบันนั้นมุ่งเน้นไปเพื่อรักษาสภาพอาหารเป็นส่วนใหญ่ เพราะอาหารมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น สารจำพวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ดีสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพ

วิธีการถนอมและรักษาสภาพอาหารโดยการยับยั้งจุลินทรีย์มีหลายวิธีด้วยกัน (เยาวพา สุวัตติ, 2547) ได้แก่

1) การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน

ความร้อนจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ และเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในอาหารได้ แต่จะทำให้โปรตีนเปลี่ยนสภาพไปด้วย การถนอมสารอินทรีย์โดยใช้ความร้อนอาจแบ่งได้คือ

- การใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ไม่รุนแรง โดยอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรซ์ที่ใช้จะต่ำกว่า 100 °C เพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารให้นานหลายวัน เช่น นม น้ำผลไม้ วิธีนี้สามารถใช้ในการถนอมอาหารได้โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และทำลายจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ

เช่น แบททีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์ และรา และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าของอาหารน้อยที่สุด

- การใช้ความร้อนระดับสเตอริไลซ์ (Sterilization) เป็นการทำให้อาหารปราศจากเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และทำลายจุลินทรีย์ หรือสปอร์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งสามารถที่จะเจริญเติบโตในอาหารได้ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาตามปกติ และไม่ต้องแช่เย็น โดยความร้อนในการสเตอริไลซ์จะสูงกว่าจุดเดือด คือประมาณ 100-130 °C

2) การถนอมอาหารโดยใช้ความเย็น

เป็นการลดอุณหภูมิของอาหารลงให้ต่ำกว่า 10 °C เพื่อทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ รวมทั้งกิจกรรมของเอนไซม์เกิดได้ช้าลง จึงเป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ชะลอการเน่าเสีย และลดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ระยะหนึ่ง เช่น

- การแช่เย็น (Chilling) เป็นกรรมวิธีที่ควบคุมอุณหภูมิของอาหารไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -1 °C ถึง 8 °C เพื่อลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี และการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์ วิธีนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสน้อยที่สุด โดยมักจะใช้การแช่เย็นควบคู่กับกรรมวิธีแปรรูปอื่นๆ เช่น การหมัก การฉายรังสี

- การแช่เยือกแข็ง (Freezing) การแช่เยือกแข็งเป็นกรรมวิธีการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง โดยส่วนของน้ำจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นผลึกน้ำแข็ง จุลินทรีย์จึงไม่สามารถนำน้ำมาใช้ในการเจริญได้ สำหรับอาหารที่นิยมแช่เยือกแข็ง ได้แก่ อาหารทะเล

3) การถนอมอาหารโดยการทำให้แห้ง

การถนอมอาหารโดยการทำให้แห้ง หมายถึง การกำจัดน้ำส่วนใหญ่ออกไปจากอาหารออกจากอาหาร ซึ่งจะมีผลให้กระบวนการเมตาบอลิซึม และการเจริญของจุลินทรีย์เกิดได้ช้าลง ทั้งยังเป็นการลดอัตราเร็วของปฏิกิริยาการหืนของไขมันเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส การถนอมอาหารโดยการทำให้แห้งมีหลายวิธี เช่น

- การทำให้อาหารแห้งโดยอาศัยธรรมชาติ เป็นการอาศัยแหล่งความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือผิงลม วิธีนี้นิยมใช้ในประเทศแถบร้อนเขตร้อนเขตร้อนเขตร้อนเขตร้อน เพราะต้นทุนต่ำ ทำได้ง่ายแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมอัตราเร็วในการทำให้แห้งได้

- การทำให้อาหารแห้ง โดยอาศัยวิธีกลเข้าช่วย เช่น การใช้ลมเปรม การระเหย และการอบ การทำให้แห้งโดยวิธีกลต้องหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการถนอมอาหารแต่ละชนิด

เพื่อให้มีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด การทำให้แห้งส่วนใหญ่จะอาศัยหลักการนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสี ซึ่งวิธีนี้จะสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมได้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ

4) การถนอมอาหารโดยการหมักดอง

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตหรือสารอื่น ภายใต้สภาวะที่มีหรือไม่มีอากาศ ซึ่งจะแตกต่างจากการถนอมอาหารอื่นที่มีวัตถุประสงค์ในการทำลายจุลินทรีย์ และเอนไซม์ธรรมชาติในอาหาร การหมักดองจะทำให้ pH ของอาหารลดต่ำลง ซึ่งจะเป็นการป้องกันไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคเจริญได้

5) การถนอมอาหารโดยการใช้รังสี

การฉายรังสีอาหารเป็นวิธีการถนอมอาหารที่ต้องการเลี่ยงการใช้ความร้อน เนื่องจากความร้อนสามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านประสาทสัมผัสของอาหารนั้นๆ ได้ รังสีชนิดที่แตกตัวได้ (ionizing radiation) ที่มีช่วงคลื่นสั้น สามารถที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ การทำงานของเอนไซม์ และการเจริญเติบโตของไข่ และตัวอ่อนของแมลงได้ดี โดยรังสีที่ใช้ในการถนอมอาหารมี 3 ชนิดคือ รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ และอิเล็กตรอนกำลังสูง

6) การถนอมอาหารโดยการใช้สารเคมี

การใช้สารเคมีในอาหาร มีจุดประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยมีผลยับยั้งการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในอาหาร สารเคมีที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ เกลือ น้ำตาล กรด สารกันหืน สารกันบูด

2.6 สารกันบูด

สารกันบูด (Preservatives) หรือเรียกว่า สารกันเสีย เป็นสารเคมีที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้น เนื่องจากมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตและทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุการเน่าเสีย (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2545) โดยสารกันบูดหรือสารกันเสีย มักนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์จำพวกเครื่องสำอางค์และอาหาร

2.6.1 สารกันบูดสำหรับเครื่องสำอาง

สารกันเสียในเครื่องสำอาง ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อยีสต์ เพื่อป้องกันมิให้เครื่องสำอางเสียง่าย เช่น การเติมในครีมทาผิว เพราะมีการแต่งกลิ่นและอาจใช้แป้งเป็นส่วนประกอบ ทำให้เกิดการบูดเสียได้ จึงต้องใส่

สารกันเสียป้องกัน (คณาจารย์ภาควิชาเภสัชเคมี, 2552) สารกันเสียในเครื่องสำอาง มีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น

1) พาราเบนเอสเทอร์ หรือ พาราไฮดรอกซีเบนโซเอตเอสเทอร์

เป็นสารกันเสียที่นิยมมากที่สุดในการเครื่องสำอาง ได้แก่ เมทิลพาราเบน (methylparaben) โพรพิลพาราเบน (propylparaben) บิวทิลพาราเบน (butylparaben) เป็นต้น สารนี้มีผลต่อการซึมผ่านของสารต่างๆผ่านผนังเซลล์ของเชื้อ จึงสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ต่อเชื้อรา ยีสต์ และเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก เช่น Staphylococcus แต่หากให้ต้องการออกฤทธิ์ครอบคลุมเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ เช่น Pseudomonas, E.coli อาจต้องใช้ร่วมกับสารกันเสียกลุ่มอื่น สารกลุ่มนี้สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อได้ดีในช่วงความเป็นกรด-เบส (pH) ที่กว้าง ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่ความเป็นกรด-เบส 8.0 โดยกระทรวงสาธารณสุขแนะนำให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 0.4 เมื่อใช้เอสเทอร์ชนิดเดียวกันและไม่เกินร้อยละ 0.8 ในกรณีที่ใช้เอสเทอร์หลายชนิด

2) อนุพันธ์ฟีนอล

สารกลุ่มนี้ได้รับความนิยมน้อยเมื่อเทียบกับสารกันเสียชนิดอื่น เนื่องจากฟีนอล ซึ่งเป็นสารต้นแบบในกลุ่มนี้เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ปกติถูกใช้เป็นยาฆ่าเชื้อที่ใช้กับสิ่งไม่มีชีวิต แต่ภายหลังมีการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีให้ลดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และมีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จึงมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ผ่านผนังเซลล์เช่นเดียวกับสารในกลุ่มพาราเบนเอสเทอร์ ตัวอย่างสารในกลุ่มอนุพันธ์ฟีนอล ได้แก่ ออร์โท-ฟีนอลฟีนอล (o-phenylphenol) คลอโรไซลีนอล (chloroxylenal) ไตรโคลซาน (triclosan) และเรซอร์ซินอล (resorcinol) ไตรโคลซานเป็นสารกันเสียที่ใช้กันมากในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ยาสีฟัน สบู่ระงับกลิ่น สารขจัดกลิ่นตัวสารระงับเหงื่อ โดยกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดปริมาณของไตรโคลซานให้ใช้ได้ ในอัตราส่วนสูงสุดไม่เกินร้อยละ 0.3

3) แอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ที่ถูกนำมาใช้เป็นสารกันเสียในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ได้แก่ เอทานอล (ethanol) ไอโซโพรพานอล (isopropanol) โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) ฟีนอกซีเอทานอล (phenoxyethanol) เบนซิลแอลกอฮอล์ (benzyl alcohol) ฟีนีทิลแอลกอฮอล์ (phenethyl alcohol) สารกลุ่มนี้จะต้องใช้ในปริมาณหรือความเข้มข้นที่สูงจึงจะสามารถป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ได้ ตัวอย่างเช่น เอทานอล ต้องใช้ในปริมาณมากกว่าร้อยละ 4 จึงจะสามารถป้องกัน

การเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อราได้ แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของแอลกอฮอล์จะทำให้ผิวแห้งง่าย

4) สารที่แตกตัวให้ฟอร์มาลดีไฮด์

ปกติฟอร์มาลดีไฮด์ถูกใช้เป็นส่วนต้านจุลชีพ แต่ในปัจจุบันไม่มีการใช้ในเครื่องสำอางเนื่องจากค่อนข้างอันตราย จึงมักใช้ในรูปสารที่สามารถแตกตัวให้ฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณที่มากพอที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ โดยสารเหล่านี้สามารถแตกตัวให้ฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน สารกลุ่มนี้จะละลายน้ำได้ดีและออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่ ความเป็นกรด-เบสระหว่าง 3 ถึง 9

5) สารประกอบโบรโมไนโตร

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ 2-bromo-2-nitropropane-1,3-diol หรือ Bronopol® และ 5-bromo-5-nitro-1,3-dioxane หรือ Bronidox®, Boots Co, PLC เนื่องจากหมู่โบรโมไนโตร (Br-C-NO₂) ทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยการออกฤทธิ์ต่อเอนไซม์ในเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เอนไซม์ที่มีผลต่อการสร้างกรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการรับออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ ถึงแม้จะออกฤทธิ์ครอบคลุมเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด แต่ให้ผลไม่ดีนักกับเชื้อรา สารนี้จะละลายได้ดีในน้ำและมีความคงตัวในสภาวะกรดโดยมีความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสมเท่ากับ 6.0 สารกลุ่มนี้ต้องใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วล้างออกเท่านั้น และปริมาณที่กำหนดให้ใช้คือไม่เกินร้อยละ 0.1

6) สารคีเลต

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระแอสีติก (EDTA) ในรูปของเกลือโพแทสเซียมหรือโซเดียม ซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่เมื่อใช้ร่วมกับสารกันเสียตัวอื่น จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (gram-negative bacteria) สารกลุ่มนี้จะทำหน้าที่จับโลหะแมกนีเซียม ซึ่งอยู่ในผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้เพิ่มการซึมผ่านของสารกันเสียชนิดอื่นเข้าสู่เซลล์ เพื่อฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

7) สารประกอบแอมโมเนีย

สารกันเสียกลุ่มนี้จะมีประสิทธิภาพดีในสภาวะเบส สามารถละลายได้ดีในน้ำ และแอลกอฮอล์ที่มีความเป็นกรด-เบส 4 ถึง 10 แต่มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถใช้กับสูตรหรือ

ตำรับที่มีสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ตัวอย่างสารกันเสียในกลุ่มนี้ ได้แก่ benzothoniumchloride และ benzalkoniumchloride, cetylpyridinium chloride

8) กลุ่มที่มีสารปรอท

สารกันเสียในกลุ่มนี้ ได้แก่ phenyl mercuric acetate และ thimerosal เป็นต้น ปัจจุบันสารกลุ่มนี้ถูกห้ามใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางแล้วเนื่องจากมีความเป็นพิษสูง

การเลือกใช้สารกันเสียในเครื่องสำอางต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดของสารกันเสียแต่ละชนิดชนิด เช่น ความเป็นกรด-เบส โดยสารกันเสียที่ดีต้องสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ได้ดีในช่วงความเป็นกรด-เบสที่กว้าง การกระจายตัวของสารกันเสียในของผสมทั้งในวัฏภาคน้ำและน้ำมัน สารกันเสียที่ดีจึงควรมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และละลายได้บ้างใน และปริมาณของสารกันเสียที่ใช้ เนื่องจากสารกันเสียบางชนิดหากใช้มากเกินไปอาจทำให้เกิดการแพ้ของผู้บริโภคได้

2.6.2 สารกันบูดสำหรับอาหาร

เนื่องจากซีรัมน้ำที่มียุงค้ประกอบของสารอินทรีย์ในปริมาณมาก เช่น โปรตีน น้ำตาล ไขมัน ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับส่วนประกอบของอาหาร จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเทคโนโลยีการรักษาสภาพของอาหารมาปรับประยุกต์ใช้กับซีรัมน้ำที่ และการเลือกใช้สารกันบูดสำหรับอาหารมาใช้รักษาสภาพซีรัมน้ำที่เพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช ย่อมมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถรักษาคูณค่าของธาตุอาหารและมีความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคพืชนั้นๆ เช่นเดียวกับอาหารที่ผ่านการเติมสารกันบูด

สำหรับสารกันบูดที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยมีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่

1) กลุ่มของกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอทกับกลุ่มของกรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบท

สารกันบูดสองชนิดนี้เป็นกลุ่มที่นิยมกันมากในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เนื่องจากความเป็นพิษน้อย ส่วนใหญ่นิยมใช้ในรูปแบบเกลือของกรดเพราะละลายน้ำได้ดีกว่ากลุ่มของกรดเบนโซอิกและเกลือของกรดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์และแบคทีเรียได้ดีกว่าเชื้อรา และทำงานได้ดีที่สุดเมื่ออยู่ในภาวะที่มีความเป็นกรดต่าง ประมาณ 2.5 – 4.0 ส่วนกลุ่ม

ของกรดซอร์บิกและเกลือของกรดนั้น สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและยีสต์ได้ดีกว่าแบบที่เรียย สามารถทำงานได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงแม้ในสภาวะความเป็นกรดต่ำในช่วง 6.0-6.5

2) กลุ่มของสารไนเตรทและไนไตรท์

สารไนเตรทและไนไตรท์เป็นสารกันบูดที่มีผู้ใช้กันอย่างแพร่หลายในท้องตลาด ทั้งอย่างถูกวิธีและผิดวิธี เนื่องจากสารกันบูดกลุ่มนี้นอกจากจะป้องกันการบูดเน่าของอาหารแล้วยังมีคุณสมบัติทำให้เนื้อสัตว์มีสีแดงเหมือนเนื้อสดเพื่อปิดบังคุณภาพสินค้า นอกจากนี้สารกลุ่มนี้ยังทำปฏิกิริยากับสารเคมีในอาหารบางอย่างทำให้เกิดสารพิษชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ไนโตรซามีน ซึ่งเป็นสารที่มีอันตรายต่อร่างกาย สารกันบูดชนิดนี้มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรียที่มีพิษร้ายแรงมาก คือ *Crostridium botulinum* ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่เจริญได้ดีในที่ที่ไม่มีอากาศ จึงมีการอนุญาตให้ใช้เป็นสารกันบูดในอาหารกระป๋อง

3) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือซัลไฟท์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารกันบูดที่ใช้กันมานานแล้ว ปัจจุบันนิยมใช้ในอุตสาหกรรมไวน์และเครื่องดื่ม อีกทั้งยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกมากมาย เช่น ผลไม้แห้ง ผักผลไม้ดอง แยม เป็นต้น สารกลุ่มนี้จะใช้ได้ผลดีในอาหารที่มีความเป็นกรดสูง หากใช้ในปริมาณมากจะมีผลต่อการใช้โปรตีนและไขมันในร่างกาย และมีฤทธิ์ทำลายวิตามินบีซึ่งเป็นวิตามินที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของร่างกาย ในปัจจุบันกระทรวงสาธารณสุขได้มีการกำหนดขอบเขตจำกัดในการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือซัลไฟท์เป็นสารกันบูดแล้ว เพราะคำนึงถึงอันตรายที่เกิดกับผู้บริโภค

4) สารกันบูดกลุ่มอื่นๆ เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซีติก ใช้เป็นสารให้ความเปรี้ยวในซอสที่ใสในซีสบางชนิด โพรพิลพาราเบน เมทิลพาราเบน เอทิลพาราเบน ที่ใช้เฉพาะในแยมและเยลลี่ ไพมาริซินใช้เฉพาะที่ผิวของเนยแข็ง และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์หมักเกลือที่ผ่านหรือไม่ผ่านความร้อน

การใช้สารกันบูดในอาหารเพื่อรักษาสุขภาพซีรัมน้ำที่นั่น เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีความเป็นไปได้และน่าสนใจ เพราะมีวิธีการใช้ที่ไม่ยุ่งยากไม่สิ้นเปลืองเวลาและพลังงานอื่นใดในขั้นตอนการรักษาสุขภาพเหมือนดังเช่นกรรมวิธีอื่น ๆ การใช้ความร้อน การแช่แข็ง การฉายรังสี เป็นต้น

3.3 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

3.3.1 การวางแผนการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยแบบทดลอง (Experimental research) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำ 3 ซ้ำ (replication) มี 10 ตำรับทดลองดังตารางที่ 3.1 ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีหน่วยการทดลองทั้งสิ้น (10 x 3) 30 หน่วยการทดลอง หนึ่งหน่วยการทดลอง คือ ขวดพลาสติกประเภท High Density Polyethylene (HDPE) ขนาด 1000 ซีซี

ตารางที่ 3.1 ตำรับการทดลองในการศึกษาวิจัยการเติมสารกันบูดในซีรุ่มน้ำทิง

ตำรับทดลอง	สิ่งทดลอง
1	ซีรุ่มน้ำทิง (control)
2	ซีรุ่มน้ำทิง + 0.05% โซเดียมเบนโซเอท
3	ซีรุ่มน้ำทิง + 0.10% โซเดียมเบนโซเอท
4	ซีรุ่มน้ำทิง + 0.20% โซเดียมเบนโซเอท
5	ซีรุ่มน้ำทิง + 0.10% โฟแทสเซียมซอร์เบท
6	ซีรุ่มน้ำทิง + 0.20% โฟแทสเซียมซอร์เบท
7	ซีรุ่มน้ำทิง + 0.30% โฟแทสเซียมซอร์เบท
8	ซีรุ่มน้ำทิง + 0.01% กรดฟอร์มิก
9	ซีรุ่มน้ำทิง + 0.02% กรดฟอร์มิก
10	ซีรุ่มน้ำทิง + 0.03% กรดฟอร์มิก

3.3.2 การเตรียมสิ่งทดลอง

เตรียมสารกันบูด 3 ชนิด คือ โซเดียมเบนโซเอท โฟแทสเซียมซอร์เบท และ กรดฟอร์มิก ให้มีความเข้มข้นดังตารางที่ 3.1 แล้วเติมลงในตัวอย่างซีรุ่มน้ำทิง

3.3.3 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างในงานศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย การเก็บตัวอย่างซีรุ่มน้ำทิง จากบ่อพักซีรุ่มน้ำทิงเพื่อศึกษาผลของการเติมสารกันบูด และการเก็บตัวอย่างแก๊สจากบริเวณ บ่อพักซีรุ่มน้ำทิง

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการจัดการน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นนำไปสู่การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเกิดแก๊สเรือนกระจกด้วยเทคโนโลยีการรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้ง ทั้งนี้เนื่องจากการบำบัดน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์เติมอากาศเพื่อลดค่าบีโอดีของน้ำทิ้งให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม โดยแหล่งน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีมากที่สุดในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นคือ ซีรัมน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการสกิม ปัจจุบันยังไม่มีการจัดการรวมทั้งกระบวนการใดที่แยกซีรัมน้ำทิ้งออกจากรวมกับน้ำทิ้งส่วนอื่นๆ เช่น น้ำล้างพื้น น้ำล้างเครื่องจักร เป็นต้น ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งแต่อย่างใด

ซีรัมน้ำทิ้งสามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ คือ เกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็นในระยะเวลาอันสั้น การยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นด้วยเทคโนโลยีการรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้ง โดยใช้สารกันบูดสำหรับอาหาร จึงเป็นประเด็นที่มีความสัมพันธ์กับการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น สำหรับสารกันบูดที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้มี 3 ชนิดที่ 3 ระดับความเข้มข้นคือ โซเดียมเบนโซเอตที่ระดับความเข้มข้น 0.05% 0.10% และ 0.20% โพแทสเซียมซอร์เบตที่ระดับความเข้มข้น 0.10% 0.20% และ 0.30% รวมถึงกรดฟอรั่มิกที่ระดับความเข้มข้น 0.01% 0.02% และ 0.03% ตามลำดับ นอกจากศึกษาการรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งด้วยการเติมสารกันบูดแล้ว ยังมุ่งเน้นไปที่ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ที่ยังคงอยู่ในซีรัมน้ำทิ้ง ประกอบการประเมินความเหมาะสมของสารกันบูดในการรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งสำหรับประโยชน์ในแง่เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช อีกทั้งยังศึกษาวิจัยถึงการเกิดแก๊สเรือนกระจกจากซีรัมน้ำทิ้งอีกด้วย

สารกันบูดที่เลือกใช้ในงานศึกษาวิจัยนี้ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นจะครอบคลุมในช่วงต่ำและสูงกว่าข้อกำหนดทั่วไปที่ได้ระบุไว้สำหรับการใช้ในอาหารโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และหลักเกณฑ์ว่าด้วยสุขลักษณะทั่วไปในการผลิตอาหารใน Code of Federal Regulation (CFR) Title 21 ของสหรัฐอเมริกา

4.1 การใช้พลังงานในระบบการกำจัดของทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

กระบวนการผลิตน้ำยางข้น ก่อให้เกิดของทิ้งทั้งที่ในรูปกากซีเมนต์และน้ำทิ้งสำหรับกากซีเมนต์ ในปัจจุบันโรงงานผลิตน้ำยางข้นมีวิธีการจัดการของทิ้งดังกล่าวเพียงการนำไปฝังกลบ กอง หรือถมที่ โดยการใช้พลังงานในการจัดการกากซีเมนต์นั้นขึ้นกับรูปแบบของวิธีการจัดการของแต่ละโรงงาน ส่วนน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นต้องเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำทิ้งเพื่อลดค่าบีโอดีของน้ำทิ้ง ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการจัดการน้ำทิ้ง เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน โดยที่ไม่มีผลต่อกำล้างการผลิตของน้ำยางข้นของโรงงาน

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในโรงงานผลิตน้ำยางข้นนั้น ประมาณร้อยละ 90 จะใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น อีกร้อยละ 10 จะใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงาน โดยทั่วไปแล้วน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมีค่าบีโอดี 4,430 – 6,900 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2548; Danteravaich et al., 2009) จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เติมอากาศ เช่น มอเตอร์ของเครื่องสกัด พัดลมเติมอากาศ เครื่องอัดอากาศในระบบบำบัดน้ำทิ้ง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อลดค่าบีโอดีดังกล่าวของน้ำทิ้งให้ได้ตามมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม คือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม หากน้ำทิ้งมีค่าบีโอดีสูงนั้น หมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเติมอากาศย่อมมากขึ้นตามไปด้วย ผลการศึกษาวิจัยในรอบปี 2553 - 2554 (ตารางที่ 4.1) จะเห็นว่าโรงงานผลิตน้ำยางข้นนั้นจะผลิตเฉพาะบางเดือนเท่านั้น เพื่อให้สอดคล้องกับฤดูกาลกรีดยางในแต่ละปีเกษตรกรจะหยุดพักการกรีดยางในช่วงฤดูแล้ง คือ ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม เพราะในฤดูแล้งจะเป็นช่วงเวลาที่ต้นยางผลัดใบและเริ่มสะสมน้ำยาง ทำให้ช่วงเวลานี้น้ำยางมีปริมาณน้อย ไม่คุ้มค่าในการเก็บเกี่ยว เช่นเดียวกันกับโรงงานที่หยุดพักการดำเนินการผลิตน้ำยางข้นในบางช่วงที่เป็นฤดูพักการกรีดยางและจะกลับมาผลิตน้ำยางข้นอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ฤดูกาลกรีดยางที่มีน้ำยางมากพอ

สำหรับโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัยแห่งนี้ น้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วจะระบายเข้าสู่พื้นที่สวนปาล์มน้ำมันบริเวณโดยรอบโรงงาน เพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับปาล์มน้ำมัน ค่าบีโอดีจึงสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) นั้นหมายถึงในทางปฏิบัติของโรงงานผลิตน้ำยางข้นโดยทั่วไป พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดค่าบีโอดีให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งต้องมีมากกว่าในกรณีศึกษา

กระบวนการผลิตน้ำยางข้นเป็นกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง กล่าวคือ หลังจากน้ำยางสดผ่านกระบวนการปั่นแยกจนได้เป็นน้ำยางข้น ส่วนที่เหลือซึ่งเป็นหางน้ำยางก็จะเข้าสู่กระบวนการสกิมเพื่อจับตัวเนื้อยางที่เหลือกลับขึ้นมาอีกครั้งโดยตกตะกอนด้วยกรดซัลฟิวริกของเหลวที่เหลือจากกระบวนการสกิม คือ ซีรัมน้ำทิ้ง ซึ่งจะถูกระดมไว้ในบ่อพักซีรัมน้ำทิ้ง และไหลเข้าสู่รางรวบรวมน้ำทิ้งเพื่อเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งรวมกับน้ำทิ้งส่วนอื่นต่อไป น้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงาน ที่มาจากส่วนของซีรัมน้ำทิ้งและน้ำล้างอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 60 และ 33 ของปริมาณน้ำยางสดทั้งหมดที่เข้าสู่กระบวนการผลิต (อนุชิต จิโรจน์โชติชัย, สัมภาษณ์, 5 กันยายน 2554) ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 7 นั้นเป็นน้ำที่ยังอาจค้างอยู่ตามรางลำเลียงน้ำทิ้ง หรือที่เจ็มนองตามพื้นของโรงงาน ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งจึงเป็นพลังงานที่ใช้ในการบำบัดทั้งน้ำทิ้งส่วนอื่น ๆ รวมกับซีรัมน้ำทิ้ง

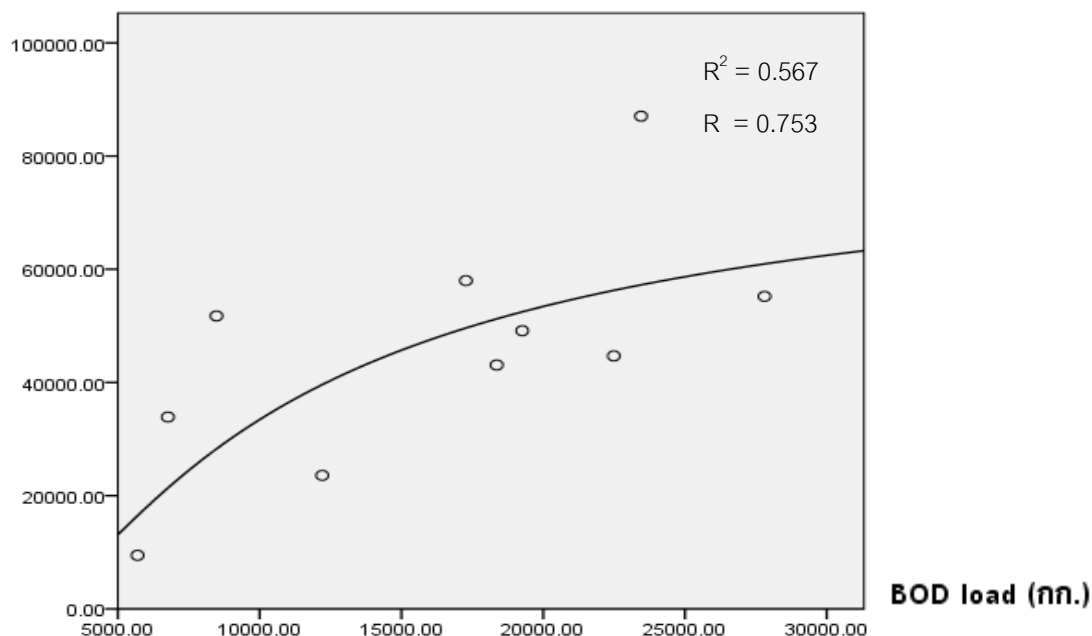
ตารางที่ 4.1 กำลังการผลิต ปริมาณน้ำทิ้ง ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวม ปริมาณบีโอดี (BOD Load) และพลังงานไฟฟ้าจริงที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งในรอบปี 2553 - 2554

เดือน-ปี	กำลังการผลิต ($\times 10^6$ ลิตร)	ปริมาณน้ำทิ้ง ^a ($\times 10^6$ ลิตร)	ค่าบีโอดีของ น้ำทิ้งรวม (มก./ลิตร)	BOD load ของน้ำทิ้ง รวม (กก.)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ จริงในระบบบำบัด น้ำทิ้ง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
มิ.ย.-53	1.58	1.47	4,600	6,762	33,900
ก.ย.-53	3.35	3.12	7,208	22,489	44,688
ต.ค.-53	2.18	2.02	6,042	12,205	23,580
พ.ย.-53	1.20	1.12	5,083	5,693	9,454
ธ.ค.-53	4.65	4.32	4,250	18,360	43,080
ม.ค.-54	3.62	3.37	8,250	27,802	55,212
ก.พ.-54	3.34	3.11	7,541	23,453	87,048
พ.ค.-54	1.96	1.82	10,583	19,261	49,140
มิ.ย.-54	2.43	2.26	3,750	8,475	51,756
ก.ค. 54	3.54	3.29	5,250	17,272	57,996

หมายเหตุ: ^a ปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละ 93 ของกำลังการผลิตต่อเดือน (ซีรัมน้ำทิ้งร้อยละ 60 + น้ำทิ้งอื่น ร้อยละ 33)

เมื่อพิจารณาเบื้องต้นจากข้อมูลดังตารางที่ 4.1 พบว่า BOD Load ของน้ำทิ้งรวม และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงในระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานในรอบปี 2553 และ 2554 มีลักษณะไม่สอดคล้องกันทุกเดือน เช่น ในเดือนมกราคม ปี 2554 BOD Load ของน้ำทิ้งรวมมีค่าสูงถึง 27,802 กิโลกรัม โดยเป็นเดือนที่มี BOD load มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำทิ้งในเดือนกุมภาพันธ์ปีเดียวกันมีค่า BOD load เพียง 23,453 กิโลกรัมเท่านั้น แต่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำทิ้งถึง 87,048 กิโลวัตต์-ชั่วโมง มากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำทิ้งในเดือนมกราคม ปี 2554 (55,212 กิโลวัตต์-ชั่วโมง) เป็นไปได้ว่าการบำบัดน้ำทิ้งของระบบบ่อฝั่งอากาศ ซึ่งเป็นระบบเปิด ไม่ได้ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์เติมอากาศอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ นอกจากนี้ปริมาณน้ำทิ้งในบ่อบำบัดอาจเจือจางด้วยน้ำฝน อย่างไรก็ตามเมื่อนำข้อมูลมาประมวลผลทางสถิติ ด้วยชุดโปรแกรมสำเร็จรูป PASW Statistics 18 for Windows (SPSS) เพื่อพยากรณ์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีประเมินผลแบบ Curve Estimation ใช้ BOD load เป็นตัวแปรต้น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งเป็นตัวแปรตาม พบว่ามีความสัมพันธ์เป็น S-curve (ภาพที่ 4.1) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.753 และมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.567 (ตารางที่ 4.2)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง
(กิโลวัตต์-ชั่วโมง)



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งและ BOD load ของน้ำทิ้งรวมในระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบบ่อฝั่งเติมอากาศ

การพยากรณ์ความสัมพันธ์ในรูปแบบของ S-curve (ภาพที่ 4.1) คือ $y = e^{(b_0+b_1/x)}$

เมื่อ y คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

x คือ BOD load ของน้ำทิ้งรวม (กิโลกรัม)

e คือฐานของลอการิทึมธรรมชาติ e (ค่าคงที่ e เท่ากับ 2.71828182845904)

b_0 และ b_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวค่าจริง

(Unstandardized Coefficients)

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง} = e^{(11.355 - [9,368 / \text{BOD load}]}$$

ทั้งนี้สมการ S curve ข้างต้น เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งและ BOD load ของน้ำทิ้งรวม ในกรณีที่โรงงานที่ทำการศึกษาวัดเป็นโรงงานผลิตน้ำยางชั้นขนาดกลาง มีระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบบ่อฝิ่งเติมอากาศ

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งและ BOD load ในรูปแบบของ S-curve

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)	F- value
$b_1 = -9,368$ $b_0 = 11.355$	0.567	0.753	10.490*

หมายเหตุ: * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

เมื่อพิจารณาค่าบีโอดีของซีรัมน้ำทิ้งพบว่าบีโอดีเท่ากับ 12,693 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.3) มีปริมาณถึงร้อยละ 60 ของน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงาน ทั้งนี้การที่มีน้ำทิ้งส่วนอื่นๆ อีกร้อยละ 33 เจือจางซีรัมน้ำทิ้งจากกระบวนการสกิมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งรวมของโรงงาน มีผลให้ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวมลดลงเหลือ 3,750 – 10,583 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่งบอกว่าการแยกซีรัมน้ำทิ้งออกจากน้ำทิ้งรวมของโรงงานนั้น มีโอกาสที่ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวมจะอยู่ในค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) อาจไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำทิ้งเหล่านั้นเลย นั่นหมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น ย่อมลดลงร้อยละ 10 เช่นกัน

ตารางที่ 4.3 ปริมาณซีรุ่มน้ำทิ้ง ค่าบีโอดีของซีรุ่มน้ำทิ้งและน้ำทิ้งรวม ปริมาณบีโอดีของซีรุ่มน้ำทิ้ง และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดจากการพยากรณ์ ด้วยสมการ

เดือน-ปี	ปริมาณซีรุ่มน้ำทิ้งต่อเดือน ($\times 10^6$ ลิตร)	ค่าบีโอดีของซีรุ่มน้ำทิ้ง (มก./ลิตร)	BOD load ของซีรุ่มน้ำทิ้ง (กก.) ^a	พลังงานไฟฟ้าใช้ในการบำบัดเฉพาะซีรุ่มน้ำทิ้ง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ^b	ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวม (มก./ลิตร)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งรวม (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ^c
มิ.ย.-53	0.94		11,931	38,942	4,600	21,367
ก.ย.-53	2.01		25,513	59,149	7,208	56,299
ต.ค.-53	1.31		16,628	48,611	6,042	39,634
พ.ย.-53	0.72		9,139	30,636	5,083	16,473
ธ.ค.-53	2.79		35,413	65,543	4,250	51,265
ม.ค.-54	2.17	12,693	27,544	60,772	8,250	60,964
ก.พ.-54	2.00		25,386	59,040	7,541	57,272
พ.ค.-54	1.18		14,978	45,686	10,583	52,503
มิ.ย.-54	1.46		18,532	51,508	3,750	28,272
ก.ค. 54	2.12		26,909	60,287	5,250	49,643

หมายเหตุ ^a : BOD load เท่ากับ ปริมาณซีรุ่มน้ำทิ้ง x ค่า BOD ของซีรุ่มน้ำทิ้ง
^b และ ^c: พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง = $\exp^{(11.355 - [9.368 / \text{BOD load}])}$

ในกรณีที่ซีรุ่มน้ำทิ้งไม่มีน้ำทิ้งส่วนอื่นมาเจือจาง เพื่อช่วยลดค่าบีโอดีของซีรุ่มน้ำทิ้งให้น้อยลง มีผลให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนมากถึง 30,636 - 65,543 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (ตารางที่ 4.3) ในการบำบัดน้ำทิ้ง กล่าวได้อีกทางหนึ่งว่า การแยกซีรุ่มน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงาน 1 ลูกบาศก์เมตร มีผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง 23.49 - 42.55 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (1 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 1,000 ลิตร)

การประเมินเบื้องต้นดังที่ได้กล่าวแสดงให้เห็นว่า การแยกซีรุ่มน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงาน มีผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำทิ้งลดลง 30,636 - 65,543 กิโลวัตต์-ชั่วโมง สำหรับน้ำทิ้งจากแหล่งอื่น เช่น น้ำล้างพื้น น้ำล้างเครื่องจักร นั้น อาจไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานในการบำบัดแต่อย่างใด

เมื่อพิจารณา BOD load ของน้ำทิ้งรวมและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงในระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานในรอบปี 2553 และ 2554 ดังในตารางที่ 4.1 และผลลัพธ์ของการประมวลทางสถิติ พบว่า สมการ S- Curve สามารถพยากรณ์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งและ BOD load น้ำทิ้งในโรงงานผลิตน้ำยางชั้นได้โดยมีความถูกต้องเพียง 56.7% (ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ: R^2 เท่ากับ 0.567, ตารางที่ 4.2) บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งนั้น มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของ BOD load ของน้ำทิ้งเพียง 56.7% เท่านั้น ส่วนที่เหลืออีก 43.3% เป็นผลมาจากสาเหตุอื่น ๆ

สำหรับสาเหตุอื่น ๆ ที่ทำให้การพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อน 43.3% อาจมาจากการที่อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นนั้นเป็นอุตสาหกรรมเกษตร การผลิตจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบซึ่งแปรผันตามฤดูกาล เช่น ปริมาณเนื้อยางในน้ำยางสด ปริมาณน้ำฝน จังหวะการระบายน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดลงสู่ร่องน้ำในพื้นที่ปลูกพืช (ปาล์มน้ำมัน) หรือแม้แต่สัดส่วนของปริมาณซีรุ่มน้ำทิ้งและน้ำทิ้งส่วนอื่นๆ (น้ำล้างเครื่องจักร น้ำล้างพื้น) ในแต่ละเดือนมีปริมาณที่ไม่แน่นอน ไม่ได้คงที่เป็นร้อยละ 60 และ 33 ตามลำดับเสมอไป ซึ่งปัจจัยดังที่ได้กล่าวมาต่างมีผลต่อค่าบีโอดีของน้ำทิ้งทั้งสิ้น

จากผลการพยากรณ์จากสมการ S - Curve พบว่า ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.753 บ่งบอกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งมีความสัมพันธ์กับค่า BOD load ของน้ำทิ้งในทิศทางเดียวกัน ประมาณ 75.30% ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงอย่างมี

นัยสำคัญ ($F - \text{value} = 10.490^*$, ตารางที่ 4.2) กล่าวคือ เมื่อค่า BOD load มาก พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว สาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวมของโรงงาน คือ ปริมาณซีรัมน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานที่ไม่เท่ากันในแต่ละเดือน โดยไม่ได้มีสัดส่วนคงที่เสมอไป

$$\text{BOD load} = \text{ปริมาณน้ำทิ้งรวม (ลิตร)} \times \text{ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)}$$

$$\text{ปริมาณน้ำทิ้งรวม} = \text{ปริมาณซีรัมน้ำทิ้ง} + \text{ปริมาณน้ำทิ้งส่วนอื่น}$$

ดังนั้นการพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง จำเป็นต้องประเมินสัดส่วนของซีรัมน้ำทิ้งและน้ำทิ้งส่วนอื่นให้ได้เสียก่อน เพื่อหา BOD load ที่แท้จริง โดยอาศัยหลักการของการเจือจาง (Dilution effect) ดังนี้

$$\text{BOD}_t \times V_t = (\text{BOD}_s \times V_s) + (\text{BOD}_o \times V_o)$$

โดยให้ BOD_t เป็น ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวม (ตารางที่ 4.1) (มิลลิกรัมต่อลิตร)

BOD_s เป็น ค่าบีโอดีของซีรัมน้ำทิ้ง (ตารางที่ 4.3) (มิลลิกรัมต่อลิตร)

BOD_o เป็น ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งส่วนอื่น ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V_t เป็น สัดส่วนปริมาณน้ำทิ้งรวม (ตารางที่ 4.1) โดยให้มีค่าเท่ากับ 1

V_s เป็น สัดส่วนปริมาณซีรัมน้ำทิ้ง (ตารางที่ 4.3)

V_o เป็น สัดส่วนปริมาณน้ำทิ้ง โดยให้มีค่าเท่ากับ $1 - V_s$

จากสมการข้างต้นสามารถจัดรูปแบบได้ ดังนี้

$$\text{BOD}_t \times 1 = (\text{BOD}_s \times V_s) + (\text{BOD}_o \times [1 - V_s])$$

กรณีของ BOD_o ในการศึกษาค้างนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 60 - 110 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นช่วงของค่าบีโอดีของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งเข้าสู่สวนปาล์มน้ำมันของโรงงานในรอบปี 2553 - 2554

จากนั้นนำค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวม (ตารางที่ 4.1) และค่าบีโอดีของซีรัมน้ำทิ้ง (ตารางที่ 4.3) ในรอบปี 2553 - 2554 มาแทนค่าในสมการข้างต้นจะได้สัดส่วนของปริมาณซีรัมน้ำทิ้งและน้ำทิ้งส่วนอื่น เพื่อประเมินหาปริมาณซีรัมน้ำทิ้งที่แท้จริง ดังผลในตารางที่ 4.4

เมื่อพิจารณา BOD load ของน้ำทิ้งรวม (ตารางที่ 4.4) มีค่าใกล้เคียงกับ BOD load ของซีรัมน้ำทิ้ง (ตารางที่ 4.4) นั้นหมายถึงซีรัมน้ำทิ้งมีผลต่อ BOD load ของน้ำทิ้งรวมในโรงงานผลิตน้ำยางชั้นมากกว่าน้ำทิ้งส่วนอื่น ๆ ซึ่งค่าบีโอดีหรือสารอินทรีย์ในปริมาณน้อยมาก เช่นในกรณีของเดือนมิถุนายน ปี 2553 การแยกซีรัมน้ำทิ้งทั้งหมดออกจากน้ำทิ้งรวมจะทำให้ BOD load จาก 6,762 กิโลกรัม ลดลงถึง 6,658 กิโลกรัม ในทำนองเดียวกันกับเดือนอื่นๆ

ดังนั้นการแยกซีรัมน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้ง น่าจะส่งผลให้ BOD load ของน้ำทิ้งรวมลดลงอย่างน้อย 98% การ ใช้ไฟฟ้าในการเติมอากาศเพื่อลดค่าบีโอดีในน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น ก็น่ามีโอกาสลดลงอย่างน้อย 98% เช่นกัน และความเป็นไปได้ที่จะไม่ต้องใช้ไฟฟ้าในการบำบัดน้ำทิ้งที่เหลือเลย เนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว น้ำทิ้งสามารถบำบัดได้เองตามธรรมชาติ

สำหรับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดเฉพาะซีรัมน้ำทิ้งเพียงอย่างเดียว พบว่ามีพลังงานไฟฟ้าถูกใช้ถึง 9,330 - 86,528 กิโลวัตต์-ชั่วโมงในรอบปี 2553 - 2554 (ตารางที่ 4.4) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณซีรัมน้ำทิ้งและน้ำทิ้งส่วนอื่นที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงาน แม้ซีรัมน้ำทิ้งจะถูกเจือจางด้วยน้ำทิ้งส่วนอื่นที่มีปริมาณบีโอดีที่น้อยกว่าในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ก็ยังคงไม่มีผลต่อ BOD load ของน้ำทิ้งรวมมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับผลจาก BOD load ของซีรัมน้ำทิ้ง โดยจะเห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งรวม (9,454 - 87,048 กิโลวัตต์-ชั่วโมง, ตารางที่ 4.4) และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดเฉพาะซีรัมน้ำทิ้ง (9,330 - 86,528 กิโลวัตต์-ชั่วโมง, ตารางที่ 4.4) นั้นใกล้เคียงกันมาก

เนื่องจากโรงงานที่ศึกษาวิจัยแห่งนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าในการเติมอากาศเพื่อลดค่าบีโอดีเพียงเพื่อนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดระดับหนึ่งไปใช้ในสวนปาล์มน้ำมันบริเวณโดยรอบโรงงานเท่านั้น ไม่ได้บำบัดจนค่าบีโอดีเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม คือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในทางปฏิบัติของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นโดยทั่วไป พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดค่าบีโอดีให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งต้องมีมากกว่าในกรณีศึกษา

ตารางที่ 4.4 ค่าบีโอดีของซีรุ่มน้ำทิ้ง สัดส่วนปริมาณซีรุ่มน้ำทิ้งต่อเดือน ปริมาณซีรุ่มน้ำทิ้ง BOD load ของซีรุ่มน้ำทิ้ง BOD load ของน้ำทิ้งรวม สัดส่วนปริมาณบีโอดีของซีรุ่มน้ำทิ้งต่อน้ำทิ้งรวม และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงในระบบบำบัดน้ำทิ้งต่อเดือน

เดือน-ปี	ค่าบีโอดีของ ซีรุ่มน้ำทิ้ง (มก./ลิตร)	สัดส่วน ซีรุ่มน้ำทิ้ง ต่อเดือน	ปริมาณซีรุ่ม น้ำทิ้ง (x10 ⁶ ลิตร)	BOD load ของ ซีรุ่มน้ำทิ้ง (กก.)	BOD load ของ น้ำทิ้งรวม (กก.)	สัดส่วน BOD load ของซีรุ่มน้ำ ทิ้งต่อน้ำทิ้งรวม	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ จริงในระบบบำบัด น้ำทิ้งต่อเดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ บำบัดเฉพาะ ซีรุ่มน้ำทิ้ง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
มิ.ย.-53	12,693	0.36	0.53	6,658	6,762	0.98	33,900	33,379
ก.ย.-53		0.56	1.74	22,339	22,489	0.99	44,688	44,391
ต.ค.-53		0.47	0.94	12,087	12,205	0.99	23,580	23,353
พ.ย.-53		0.40	0.45	5,618	5,693	0.99	9,454	9,330
ธ.ค.-53		0.33	1.43	18,041	18,360	0.98	43,080	42,332
ม.ค.-54		0.65	2.19	27,672	27,803	1.00	55,212	54,952
ก.พ.-54		0.59	1.83	23,312	23,453	0.99	87,048	86,528
พ.ค.-54		0.83	1.51	19,227	19,261	1.00	49,140	49,054
มิ.ย.-54		0.29	0.65	8,298	8,475	0.98	51,756	50,677
ก.ค. 54		0.41	1.35	17,058	17,273	0.99	57,996	57,277

4.2 การรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งที่เกิดในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

ซีรุ่มน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก ทำให้เสียสภาพได้ในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นการนำซีรุ่มน้ำทิ้งไปใช้ประโยชน์ยังคงมีข้อจำกัด การศึกษาวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการใช้สารกันบูดเพื่อรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งให้มีอายุการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น รวมทั้งศึกษาผลของสารกันบูดต่อสมบัติทางเคมี ธาตุอาหาร และการเสียสภาพของซีรุ่มน้ำทิ้ง เพื่อความสะดวกและความคุ้มค่าในการนำซีรุ่มน้ำทิ้งไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชต่อไป

ซีรุ่มน้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นส่วนของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตยางสกี โดยการตกตะกอนหางน้ำยางด้วยกรดซัลฟิวริกภายในรางรวบรวมหางน้ำยาง ส่วนของซีรุ่มน้ำทิ้ง คือส่วนของเหลวที่เหลือหลังจากใช้กรดซัลฟิวริกจับตัวเนื้อยางในหางน้ำยางกลับขึ้นมา ซึ่งซีรุ่มน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจะถูกรวบรวมลงสู่รางรวบรวมน้ำทิ้งของโรงงานและเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้นต่อไป

4.2.1 ผลของสารกันบูดต่อสมบัติทางเคมีของซีรุ่มน้ำทิ้ง

สมบัติทางเคมีในการศึกษาครั้งนี้มี 2 พารามิเตอร์ คือ ความเป็นกรดต่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) เพราะทั้งสองพารามิเตอร์บ่งบอกถึงโอกาสและข้อจำกัดในการนำซีรุ่มน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช

การวิเคราะห์ความเป็นกรดต่าง เป็นการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในสารละลาย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการละลายได้และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินต่อพืช สำหรับพืชโดยส่วนใหญ่ พบว่าจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงที่มีค่าความเป็นกรดต่างค่อนข้างเป็นกลาง คือ 6.5 – 7.5 (Jensen, T., 2010) ในสภาวะดังกล่าวนี้ธาตุอาหารจะมีสภาพเป็นไอออนละลายอยู่ในดิน ซึ่งพืชสามารถดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยง่าย ผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 4.5) พบว่า การเติมสารกันบูดทั้ง 3 ชนิด (โซเดียมเบนโซเอท, โพแทสเซียมซอร์เบท และ กรดฟอรั่มิก) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดต่างของซีรุ่มน้ำทิ้งอย่างมีนัยสำคัญ (F-value = 21.44**, ตารางที่ 4.5) โดยมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อยู่ระหว่าง 4.70 – 8.27 ครอบคลุมทั้งในช่วงกรดและด่าง เมื่อพิจารณาจากข้อมูล พบว่าซีรุ่มน้ำทิ้งที่ไม่ได้เติมสารกันบูดมีสภาวะเป็นกรดมากที่สุด (pH = 4.70) เนื่องจากซีรุ่มน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลพลอยได้จากการตกตะกอนเนื้อยางด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ในทำนองเดียวกันซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติม

กรดฟอสฟอริกมีสถานะความเป็นกรดต่าง 4.40 - 4.67 ไม่แตกต่างทางสถิติกับซีรุ่มน้ำทิ้งที่ไม่ได้เติมสารกันบูดแต่อย่างใด (อยู่กลุ่มอักษร a เดียวกัน, ตารางที่ 4.5) ซีรุ่มน้ำทิ้งที่อยู่สถานะที่เป็นกรดดังกล่าว ไม่เหมาะกับการนำมาเติมลงดินเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชโดยตรงเพราะจะทำให้ดินบริเวณนั้นเป็นกรด นอกจากนี้ธาตุอาหารบางชนิดในสถานะนี้ เช่น ธาตุอะลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส และสังกะสีจะละลายออกมามากจนเป็นพิษต่อพืชได้ (Jensen, T., 2010) สำหรับการเติมโซเดียมเบนโซเอทและโพแทสเซียมซอร์เบท มีผลให้ซีรุ่มน้ำทิ้งมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 6.53 - 8.27 ถือว่าอยู่ในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 4.5 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของซีรุ่มน้ำทิ้ง

ตำรับทดลอง	pH	EC (dSm ⁻¹)
ซีรุ่มน้ำทิ้ง (control)	4.70 ^a	12.40 ^a
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.05% โซเดียมเบนโซเอท	7.10 ^{bc}	12.14 ^a
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.10% โซเดียมเบนโซเอท	7.30 ^{bcd}	12.28 ^a
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.20% โซเดียมเบนโซเอท	7.83 ^{cd}	12.51 ^a
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.10% โพแทสเซียมซอร์เบท	8.27 ^e	12.03 ^a
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.20% โพแทสเซียมซอร์เบท	7.50 ^{bcd}	11.70 ^a
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.30% โพแทสเซียมซอร์เบท	6.53 ^b	12.55 ^a
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.01% กรดฟอสฟอริก	4.67 ^a	12.18 ^a
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.02% กรดฟอสฟอริก	4.63 ^a	11.96 ^a
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.03% กรดฟอสฟอริก	4.40 ^a	11.94 ^a
F-value ตามตำรับทดลอง	21.44 ^{**}	2.18 ^{NS}

หมายเหตุ: ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างกันตามตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 99%

^{NS} หมายถึง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

สำหรับค่าการนำไฟฟ้าเป็นปัจจัยหนึ่งแสดงถึงปริมาณไอออนของธาตุต่างๆ ที่ละลายอยู่ในสารละลาย หากมีปริมาณมากย่อมไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช เพราะดินมีธาตุอาหารมากเกินไป อาจทำให้พืชขาดน้ำ และมีการสะสมไอออนที่เป็นพิษในพืชมากเกินไป รวมทั้ง

ยังทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืชอีกด้วย ซึ่งสภาพดังกล่าวมีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช โดยดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 2 dSm^{-1} จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อพืช อันเนื่องมาจากความเค็ม และหากดินมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 16 dSm^{-1} ถือว่าดินบริเวณนั้นเป็น ดินเค็มจัดเหมาะสมเฉพาะกับพืชบางชนิดเท่านั้น เช่น โกงกาง แสม เป็นต้น (อรุณี ยูวะนิยม, 2540)

สำหรับค่าการนำไฟฟ้า (Electroconductivity : EC) ภายหลังจากเติมสารกันบูด ลงในซีรุ่มน้ำทิ้งมีค่า อยู่ระหว่าง $11.70 - 12.55 \text{ dSm}^{-1}$ และเมื่อพิจารณาในรายละเอียดของ ค่าการนำไฟฟ้าของซีรุ่มน้ำทิ้งภายหลังจากเติมสารกันบูด พบว่าการเติม 0.20% ของโซเดียม เบนโซเอทและ 0.30% ของโพแทสเซียมซอร์เบทเท่านั้นที่ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของซีรุ่มน้ำทิ้งสูง กว่าซีรุ่มน้ำทิ้งในตำรับทดลองควบคุม (ไม่เติมสารกันบูด) เป็นไปได้ว่าทั้งโซเดียมเบนโซเอทและ โพแทสเซียมซอร์เบทมีสภาพเป็นเกลือของกรดอ่อน จะแตกตัวเป็นไอออนในสารละลายได้ดีกว่า กรดฟอร์มิกที่เป็นเป็นเพียงกรดอ่อนเท่านั้น อย่างไรก็ตามการเติมโซเดียมเบนโซเอท โพแทสเซียม ซอร์เบท และกรดฟอร์มิกนั้นไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการนำไฟฟ้า (F-value = 2.18^{NS} , ตารางที่ 4.5)

อย่างไรก็ตามหากนำซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติมสารกันบูดทั้งสามชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์โดย เติมลงดินโดยตรง จะเหมาะกับการปลูกพืชบางชนิดที่ทนดินเค็มมาก เช่น ละมุด มะขาม มะพร้าว อินทผลัม เป็นต้น (อรุณี ยูวะนิยม และสมศรี อรุณินท์, 2540) การนำซีรุ่มน้ำทิ้งไปใช้ประโยชน์ใน รูปปุ๋ยจะเทียบได้กับการใช้ประโยชน์ในรูปแบบปุ๋ยน้ำชีวภาพ ซึ่งมีการแนะนำให้เจือจางปุ๋ยน้ำ ชีวภาพเพื่อลดความเค็มลง (สมพร แซ่ลี, 2547)

กล่าวได้ว่า การเติมโซเดียมเบนโซเอท โพแทสเซียมซอร์เบท และกรดฟอร์มิกมีผล ต่อความค่าความเป็นกรดต่างของซีรุ่มน้ำทิ้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ไม่ส่งผลให้ค่า การนำไฟฟ้าของซีรุ่มน้ำทิ้ง

4.2.2 ผลของสารกันบูดต่อธาตุอาหารหลักในซีรุ่มน้ำทิ้ง

ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมในซีรุ่มน้ำทิ้งภายหลังจากเติมสารกันบูด ดังที่ปรากฏดังในตารางที่ 4.6 พบว่าทั้ง ปริมาณของไนโตรเจน (TKN) และฟอสฟอรัส (Total P) ในทุกตำรับทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ (F-value ของไนโตรเจน = 0.73^{NS} , F-value ของฟอสฟอรัส = 0.76^{NS}) ในขณะที่ปริมาณ โพแทสเซียมในซีรุ่มน้ำทิ้งภายหลังจากเติมสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทาง

สถิติ (F-value ของโพแทสเซียม = 193.03**) โดยพบว่า การเติมโพแทสเซียมซอร์เบททุกระดับความเข้มข้นต่างมีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในซีรุ่มน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ตารางที่ 4.6 ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในซีรุ่มน้ำทิ้ง

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ซีรุ่มน้ำทิ้ง (control)	1833.00 ^a	741.17 ^a	1148.33 ^{bcd}
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.05% โซเดียมเบนโซเอท	1704.00 ^a	715.37 ^a	1164.00 ^{cd}
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.10% โซเดียมเบนโซเอท	2066.33 ^a	733.60 ^a	1186.33 ^d
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.20% โซเดียมเบนโซเอท	1923.67 ^a	723.17 ^a	1192.33 ^d
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.10% โพแทสเซียมซอร์เบท	1806.00 ^a	717.37 ^a	1384.67 ^e
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.20% โพแทสเซียมซอร์เบท	1846.00 ^a	724.47 ^a	1574.67 ^f
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.30% โพแทสเซียมซอร์เบท	1838.33 ^a	721.33 ^a	1773.67 ^g
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.01% กรดฟอรั่มิก	1846.00 ^a	719.80 ^a	1091.33 ^a
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.02% กรดฟอรั่มิก	1787.33 ^a	712.07 ^a	1112.67 ^{abc}
ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.03% กรดฟอรั่มิก	1937.33 ^a	698.57 ^a	1107.33 ^{ab}
F-value ตามตำรับทดลอง	0.73 ^{NS}	0.76 ^{NS}	193.03**

หมายเหตุ: ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้ง หมายความว่า มีความแตกต่างกันตามตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 99%

^{NS} หมายถึง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

การเติมโพแทสเซียมซอร์เบทในความเข้มข้นที่มากขึ้น (0.10%, 0.20% และ 0.30%) ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในซีรุ่มน้ำทิ้งเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (อยู่คนละกลุ่มอักษร 0.10%^e, 0.20%^f 0.30%^g, ตารางที่ 4.6) เนื่องด้วยการเติมโพแทสเซียมซอร์เบทลงในซีรุ่มน้ำทิ้ง เป็นการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมไอออนให้กับซีรุ่มน้ำทิ้งจากการแตกตัวของโมเลกุลสารกันบูดชนิดดังกล่าว โดยสอดคล้องกับผลการทดลองที่ซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติมโพแทสเซียมซอร์เบทในระดับความเข้มข้น 0.30% ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุด มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ ในขณะที่การเพิ่มระดับความเข้มข้นของโซเดียมเบนโซเอท (0.05%, 0.10% และ 0.20%) และกรดฟอรั่มิก ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0.01%, 0.02% และ 0.03% ไม่

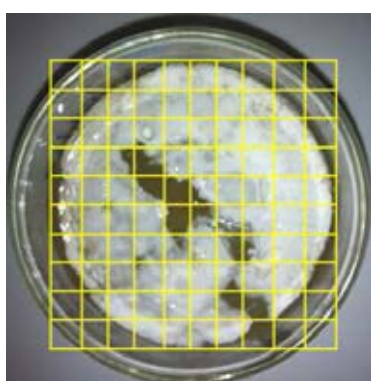
ก่อให้เกิดความแตกต่างของปริมาณโพแทสเซียมในซีรุ่มน้ำทิ้งต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่มอักษร a และbcd ,ตารางที่ 4.6)

กล่าวได้ว่าการเติมโซเดียมเบนโซเอท โพแทสเซียมซอร์เบท และกรดฟอร์มิกทุกระดับความเข้มข้น ไม่มีผลต่อการลดลงปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ในซีรุ่มน้ำทิ้ง ทั้งนี้การเติมโพแทสเซียมซอร์เบทกลับเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมในซีรุ่มน้ำทิ้งอย่างมีนัยสำคัญ

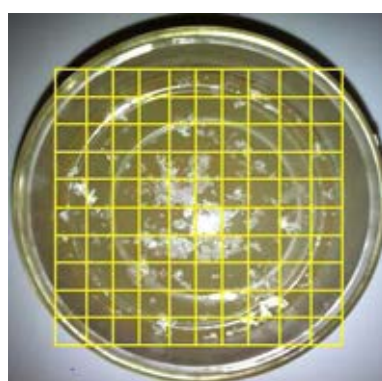
4.2.3 การเสื่อมสภาพของซีรุ่มน้ำทิ้งภายหลังการเติมสารกันบูด

การเสื่อมสภาพของสารอินทรีย์ เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แรงทางกายภาพ เอนไซม์ และจากปฏิกิริยาทางเคมี เป็นต้น แต่สาเหตุของการเสื่อมสภาพของสารอินทรีย์โดยส่วนใหญ่เกิดจากเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เป็นหลัก (Food Network Solution Co., Ltd., 2010)

ลักษณะของซีรุ่มน้ำทิ้งภายหลังการเติมสารกันบูดที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6, 12 และ 30 วัน (ตารางที่ 4.7) พบว่า ที่ระยะเวลา 6 วันของการเก็บรักษา ลักษณะของซีรุ่มน้ำทิ้งที่ไม่ได้เติมสารกันบูด เริ่มขุ่นและมีแผ่นฟิล์มสีขาวลอยอยู่บนผิวหน้าของซีรุ่มน้ำทิ้ง จนกระทั่งวันที่ 12 เริ่มเกิดแผ่นฟิล์มสีขาวคิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 60 ปกคลุมบนผิวหน้าของหน้าตัดของภาชนะที่บรรจุซีรุ่มน้ำทิ้ง (ประเมินโดยใช้แผ่นพลาสติกใส 100 ช่องวางทาบบนปากภาชนะ, ภาพที่ 4.2) และเมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน เกิดแผ่นฟิล์มสีขาวปกคลุมมากถึงร้อยละ 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด โดยแผ่นฟิล์มสีขาวที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพ



















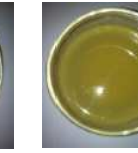









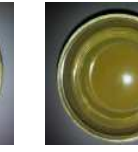



ซีรุ่มน้ำทิ้งที่ 30 วัน: ร้อยละ 95



ซีรุ่มน้ำทิ้ง + 0.01 % กรดฟอร์มิก ที่ 30 วัน: ร้อยละ 20

ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างการประเมินพื้นที่แผ่นฟิล์มที่ปกคลุมพื้นที่ผิวของซีรุ่มน้ำทิ้ง

ตารางที่ 4.7 ลักษณะของซีรัมน้ำทิ้งเมื่อผ่านไป 6, 12 และ 30 วัน

ระยะเวลา	Control	Control + 0.05% NaB	Control + 0.10% NaB	Control + 0.20% NaB	Control + 0.10% KS	Control + 0.20% KS	Control + 0.30% KS	Control + 0.01% FM	Control + 0.02% FM	Control + 0.03% FM
วันที่ 6										
วันที่ 12										
วันที่ 30										

หมายเหตุ: Control คือ ซีรัมน้ำทิ้ง
 NaB คือ โซเดียมเบนโซเอท
 KS คือ โพแทสเซียมซอร์เบท
 FM คือ กรดฟอร์มิก

ส่วนซีรุ่มน้ำทิ้งภายหลังการเติมโซเดียมเบนโซเอททุกระดับความเข้มข้น ภายหลังผ่านไป 6 วัน พบว่า มีลักษณะขุ่น โดยที่ระดับความเข้มข้น 0.05% พบแผ่นฟิล์มสีขาวลอยอยู่บนผิวหน้าเช่นเดียวกับซีรุ่มน้ำทิ้งที่ไม่ได้เติมสารกันบูด ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติม 0.05% และ 0.10% ของโซเดียมเบนโซเอทมีแผ่นฟิล์มอยู่อย่างกระจัดกระจายบนพื้นผิวหน้าตัดของภาชนะที่บรรจุซีรุ่มน้ำทิ้งมากขึ้น คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 35 และ 20 ตามลำดับ เมื่อผ่านไป 30 วัน แผ่นฟิล์มดังกล่าวมีการเกาะกลุ่มกันมากขึ้น ขณะที่ซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติม 0.20% ของโซเดียมเบนโซเอทยังคงไม่เปลี่ยนแปลงแม้เวลาจะผ่านไป 12 วัน จนกระทั่งวันที่ 30 วัน พบว่าเกิดแผ่นฟิล์มสีขาวลอยอยู่บนผิวหน้าของซีรุ่มน้ำทิ้งอย่างเบาบาง ประมาณร้อยละ 3 ของพื้นที่เท่านั้น

สำหรับซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติม 0.10% 0.20% และ 0.30% ของโพแทสเซียมซอร์เบท เมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 วัน ไม่มีแผ่นฟิล์มดังกล่าวปกคลุมพื้นที่ผิวของซีรุ่มน้ำทิ้งแต่อย่างใด จนกระทั่งวันที่ 30 มีเพียงซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติม 0.10% ของโพแทสเซียมซอร์เบทเท่านั้นที่เริ่มมีแผ่นฟิล์มสีขาวปรากฏอยู่บนพื้นที่ผิว

ส่วนซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติมด้วยกรดฟอร์มิกไม่ว่าที่ระดับความเข้มข้นใดใด พบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 วัน มีลักษณะขุ่นอย่างชัดเจน และผ่านไปจนถึงวันที่ 12 มีแผ่นฟิล์มปรากฏบนพื้นผิวของซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติม 0.01% ของกรดฟอร์มิก คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20 และหนาแน่นขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปจนครบ 30 วัน ขณะที่ระยะเวลาผ่านไป 30 วัน ซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติม 0.02% และ 0.03% ของกรดฟอร์มิกมีแผ่นฟิล์มปกคลุมเพียงร้อยละ 2 ของพื้นที่ผิวเท่านั้น

แสดงให้เห็นว่าสารกันบูดที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งคือ โพแทสเซียมซอร์เบท สามารถรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งได้เป็นเวลากว่า 30 วัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อระยะเวลาผ่านไป ซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติมสารกันบูดชนิดนี้มีค่าความเป็นกรดต่างสูงชันมากกว่า 6.5 สอดคล้องกับช่วงการทำงานที่ดีที่สุดของโพแทสเซียมซอร์เบท (Barbosa-Cánovas, G.V. et al., 2003) ขณะที่ซีรุ่มน้ำทิ้งที่เติมโซเดียมเบนโซเอท มีค่าความเป็นกรดต่างสูงถึง 7.10 – 7.83 แต่โซเดียมเบนโซเอทจะทำงานได้ดีเฉพาะช่วงความเป็นกรดต่างที่ต่ำกว่า 4.0 เท่านั้น ส่วนกรดฟอร์มิกเป็นสารกันบูดที่นิยมใช้ในอาหารสัตว์ อีกทั้งยังใช้ในอุตสาหกรรมน้ำยาล้างเพื่อทดแทนการใช้กรดซัลฟิวริกในกระบวนการสภิมน้ำยาล้าง สำหรับการเติมกรดฟอร์มิกลงไป ในซีรุ่มน้ำทิ้งยิ่งทำให้ซีรุ่มน้ำทิ้งดังกล่าวมีความเป็นกรดมากขึ้น คือ 4.40 – 4.67 ซึ่งอยู่ในช่วงความเป็นกรดต่าง (pH 3.5 -5.6) เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติก

ซึ่งต้องการสารอินทรีย์จำพวกคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนมาเป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต (มนต์นิญา วัชรเวชศฤงศา และแพรวไหม อ่างเงิน, 2010)

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาในรายละเอียดจะเห็นได้อีกว่า แม้โพแทสเซียมซอร์เบทที่ระดับความเข้มข้น 0.20% และ 0.30% สามารถรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งได้ดีเท่าเทียมกัน คือ ไม่มีแผ่นฟิล์มสีขาวปกคลุมบนผิวหน้าของซีรุ่มน้ำทิ้งดังกล่าวแต่อย่างใดที่ระยะเวลา 30 วัน แต่การใช้โพแทสเซียมซอร์เบทที่มีความเข้มข้นที่น้อยลง 0.5 เท่า จะมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในซีรุ่มน้ำทิ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 4.7)

4.2.3 ศักยภาพของการใช้ซีรุ่มน้ำทิ้งเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช

เมื่อพิจารณาทั้งสมบัติทางเคมี (ตารางที่ 4.5) ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ตารางที่ 4.6) และการเสื่อมสภาพของซีรุ่มน้ำทิ้งภายหลังการเติมสารกันบูด แสดงให้เห็นว่า โพแทสเซียมซอร์เบทที่ระดับความเข้มข้น 0.30% น่าจะเป็นสารกันบูดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้รักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชได้ โดยภายหลังการเติมสารกันบูดดังกล่าวมีผลให้ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้นเป็น 6.53 อยู่ระหว่างช่วง 6.5 – 7.5 ซึ่งเป็นช่วงที่พืชเจริญเติบโตได้ดี (Jensen, 2010) อีกทั้งปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ยังคงรักษาไว้ได้เทียบเท่ากับซีรุ่มน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการสกิม และมีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมสารกันบูดตัวอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งได้ยาวนานกว่า 30 วันอีกด้วย อย่างไรก็ตามการประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้สารกันบูดนั้น ในทางปฏิบัติต้องพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายในการจัดหาด้วย

ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า นอกจากจะเป็นการนำของทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ยังสามารถช่วยต้นทุนการใช้ปุ๋ยสำหรับเกษตรกรอีกด้วย

4.3 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตโดยเทคโนโลยีการรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้ง

จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักของพืช (N, P และ K) ในซีรุ่มน้ำทิ้งหลังการเติมสารกันบูด (โซเดียมเบนโซเอท โพแทสเซียมซอร์เบท และกรดฟอร์มิก) เพื่อรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้ง พบว่าการเติมสารกันบูดยังคงธาตุอาหารหลักเหล่านั้นในซีรุ่มน้ำทิ้งไว้ได้ ประกอบกับสามารถยึด

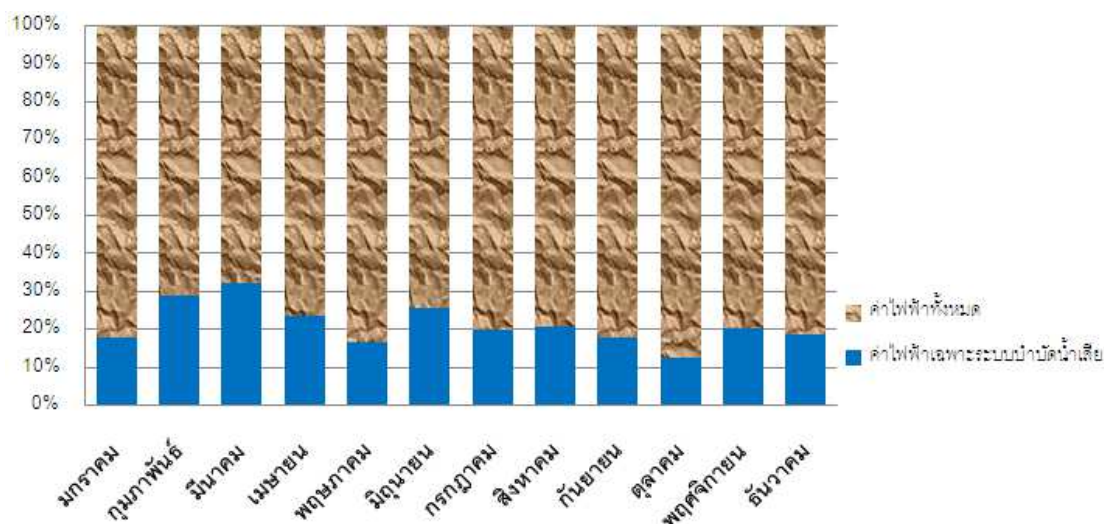
อายุการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น เทคโนโลยีการรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งดังกล่าวเอื้อต่อการนำซีรุ่มน้ำทิ้งนั้นไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชได้สะดวกยิ่งขึ้น หากไม่มีการจัดการนำซีรุ่มน้ำทิ้งเหล่านั้นไปใช้ ปล่อยให้ถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานเช่นเดิม ย่อมมีพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งที่ต้องสูญเสียไปกับการบำบัดน้ำทิ้งที่มาจากซีรุ่มน้ำทิ้งในเวลาเดียวกัน การศึกษาวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการใช้พลังงานในระบบบำบัดน้ำทิ้ง เนื่องด้วยมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถบริหารและจัดการการใช้พลังงานได้โดยไม่มีผลต่อกำลังการผลิตของน้ำยางข้น

4.3.1 พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

โรงงานผลิตน้ำยางข้นโดยทั่วไปประมาณร้อยละ 90 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดถูกใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550) พลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือร้อยละ 10 จะถูกใช้ในสำนักงานและระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงาน สำหรับโรงงานผลิตน้ำยางข้นขนาดกลางของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ค่าใช้ไฟฟ้าในส่วนของระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้นในปี 2553 คิดเป็นร้อยละ 14-34 ของค่าใช้ไฟฟ้าทั้งหมดภายในโรงงานผลิตน้ำยางข้น (ดังภาพที่ 4.3) ในกรณีของโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัยแห่งนี้ จะเห็นว่า ค่าใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งมากที่สุดในเดือนมีนาคม (ร้อยละ 34) ซึ่งเป็นฤดูแล้ง โรงงานไม่มีการผลิตน้ำยางข้นแต่อย่างใด เป็นไปได้ว่ามีการอาจกักเก็บน้ำทิ้งไว้มากที่สุดเพื่อมาบำบัดในช่วงเดือนนี้ที่ไม่มีการผลิตน้ำยางข้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหากมีการผลิตน้ำยางข้นควบคู่กับการบำบัดน้ำทิ้งในเวลาเดียวกัน ค่าไฟฟ้าที่มาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดย่อมมากขึ้นเช่นกัน หรือกรณีในเดือนธันวาคมซึ่งมีกำลังการผลิตน้ำยางข้นมากที่สุด (ตารางที่ 4.1) ค่าใช้ไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำทิ้งคิดเป็นร้อยละ 23 เท่านั้น อาจมีสาเหตุมาจากการเดินระบบบำบัดน้ำทิ้งในช่วงเวลา off peak (วันจันทร์-เสาร์ เวลา 22.00-09.00 น. และวันอาทิตย์ทั้งวัน) เพราะเสียค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยน้อยกว่า คือ 1.1914-1.2246 บาท (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2554) เท่านั้นแต่หากมีการบำบัดน้ำทิ้งในช่วงเวลา on peak (วันจันทร์-วันเสาร์ เวลา 09.00-22.00 น.) จะต้องเสียค่าใช้จ่ายต่อหน่วยถึง 2.6950 – 2.8408 บาท (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2554) จะเห็นได้ว่าการวางแผนการเปิดระบบบำบัดน้ำทิ้งมีผลต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งสิ้น

การแยกซีรุ่มน้ำทิ้งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานนั้น จะมีผลให้ BOD load หรือค่าความสกปรกของน้ำทิ้งลดลง (ตารางที่ 4.1) เช่น ในเดือนมิถุนายน ปี 2553 ซีรุ่มน้ำทิ้งมี BOD load เท่ากับ 6,658 กิโลกรัม ขณะที่ BOD load ของน้ำทิ้งรวม (ซีรุ่มน้ำทิ้ง + น้ำทิ้งส่วนอื่น) เท่ากับ 6,762 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าหากแยกซีรุ่มน้ำทิ้งออกมาจากระบบบำบัดน้ำทิ้งรวมจะทำให้

BOD load ของน้ำทิ้งรวมลดลงไป 6,658 กิโลกรัม หรือลดลงถึง 98% ส่งผลถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเติมอากาศเพื่อลดค่าบีโอดีย่น้อยลงไปด้วย



ภาพที่ 4.3 สัดส่วนค่าใช้จ่ายไฟฟ้าภายในโรงงานผลิตน้ำยางข้น

(ข้อมูลค่าใช้จ่ายไฟฟ้า ปี 2553 ของโรงงานอินเตอร์ริบบอร์ลาเท็กซ์จำกัด, 2554)

4.3.2 พลังงานที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยเคมี

อุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยเคมีเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญมากต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม การทำเกษตรกรรมมีอยู่ทั่วทุกภาคในประเทศไทย เกษตรกรไทยนิยมใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกมากกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตเร็วกว่าปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งปุ๋ยเคมีที่จำหน่ายในท้องตลาดมีทั้งที่นำเข้าแบบสำเร็จรูปและการนำวัตถุดิบซึ่งเป็นสินค้าที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

โดยเฉพาะวัตถุดิบหลักของแม่ปุ๋ย อันได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์จากก๊าซธรรมชาติและผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมัน แม่ปุ๋ยฟอสเฟตได้จากการนำหินฟอสเฟตมาทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกและแอมโมเนีย และแม่ปุ๋ยโพแทสที่ได้จากการถลุงแร่โพแทสโดยตรง ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวมีราคาเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามราคาตลาดโลก ประกอบกับความต้องการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกพืชที่ใช้ทดแทนน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายปุ๋ยเป็นหนึ่งในต้นทุนราคาสินค้าเกษตร โดยในปี 2551 แม่ปุ๋ยไนโตรเจนมีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 500 เหรียญสหรัฐ/ตัน แม่ปุ๋ยฟอสเฟตมีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 860 เหรียญสหรัฐ/ตัน และแม่ปุ๋ยโพแทส

ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 568 เหรียญสหรัฐ/ตัน (สำนักสารสนเทศการค้าในประเทศ, 2551) นอกจากนี้ยังต้องสูญเสียพลังงานในการกระบวนการผลิตปุ๋ยเป็นจำนวนมาก (ตารางที่ 4.8)

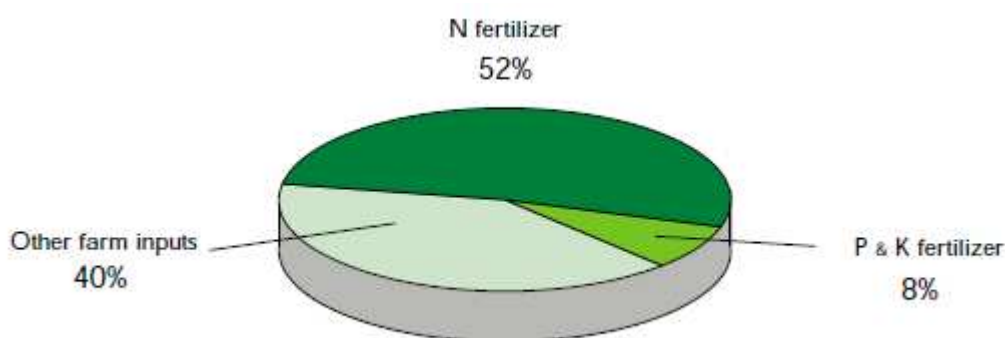
ตารางที่ 4.8 พลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการของปุ๋ยสังเคราะห์แต่ละประเภท

(Gellings, C.W. and Parmenter, K. E., 2004)

กระบวนการ	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)		
	ไนโตรเจน (N)	ฟอสเฟต (P)	โพแทส (K)
ผลิต	69,530	7,700	6,400
บรรจุ	2,600	2,600	1,800
ขนส่ง	4,500	5,700	4,600
รวม	76,630	16,000	12,800

จากข้อมูลดังภาพที่ 4.4 พลังงานที่ใช้ในการผลิตผลผลิตทางการเกษตรหนึ่งๆ ในประเทศกลุ่มยุโรป พบว่า พลังงานถูกใช้ไปกับการผลิตแม่ปุ๋ยไนโตรเจนมากที่สุด คือร้อยละ 52 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้การทำเกษตรกรรมดังกล่าว โดยพลังงานที่ใช้เป็นก๊าซธรรมชาติมากถึงร้อยละ 70 – 80 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (Kongshaug, G., 1998) สำหรับการผลิตแม่ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทสใช้พลังงานรองมา คือ ร้อยละ 8 เท่านั้น

จะเห็นได้ว่า การผลิตปุ๋ยโดยรวมมีการใช้พลังงานรวมกันมากกว่าครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ใช้ในการเกษตรกรรม



ภาพที่ 4.4 Energy consumption in European agriculture

(European Fertilizer Manufacturers Association, 2012)

อย่างที่ได้อธิบายมาข้างต้น ก่อนที่จะได้เป็นปุ๋ยเคมีให้เกษตรกรได้นำไปใช้ จำเป็นต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากทั้งในกระบวนการผลิต การบรรจุหีบห่อ และการขนส่งเพื่อส่งสู่ท้องตลาด โดยในกระบวนการผลิตตลอดจนการบรรจุและการขนส่งของปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟต และโพแทสเซียม ใช้พลังงานทั้งสิ้น 76,630, 16,000 และ 12,800 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช (N, P, K) ที่ได้จากซีรัมน้ำทิ้งทั้งหมดต่อเดือนในโรงงานผลิตน้ำยางข้นขนาดกลางที่ทำการศึกษาวิจัยแห่งนี้ พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วมีซีรัมน้ำทิ้งเกิดขึ้น 1.31×10^6 ลิตร หรือ 1.31×10^6 กิโลกรัมโดยประมาณต่อเดือน มีความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 1,833 มก./ล 741.17 มก./ล และ 1148.33 มก./ล ดังนั้นซีรัมน้ำทิ้งทั้งหมดต่อเดือน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 2,401.23 กิโลกรัม ฟอสฟอรัสเท่ากับ 970.93 กิโลกรัม และ โพแทสเซียม 1,504.31 กิโลกรัมโดยประมาณ จากข้อมูลดังกล่าวประเมินได้ว่า หากนำซีรัมน้ำทิ้งทั้งหมดถูกนำมาใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีจะช่วยลดการใช้พลังงานในการผลิตแม่ปุ๋ยถึงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีในน้ำทิ้งต่อเดือน (N, P, K) พลังงานในกระบวนการ

การผลิตแม่ปุ๋ย และพลังงานที่ทดแทนได้จากการนำซีรัมน้ำทิ้งมาใช้เป็นปุ๋ยเคมี

ธาตุอาหาร	ปริมาณที่มีในซีรัม น้ำทิ้งต่อเดือน (กิโลกรัม) (1)	พลังงานที่ใช้ใน กระบวนการผลิต (กิโลจูลต่อกิโลกรัม) (2)	พลังงานในการผลิตธาตุอาหารที่มี ในซีรัมน้ำทิ้ง (1) x (2)	
			กิโลจูล	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ไนโตรเจน (N)	2,401.23	69,530	166,957,522	46,377
ฟอสฟอรัส (P)	970.93	7,700	7,476,161	2,077
โพแทสเซียม (K)	1,504.31	6,400	9,627,584	2,674

หมายเหตุ: (1) ประเมินจากตารางที่ 4.6

(2) ค่าจากตารางที่ 4.8

กล่าวได้ว่า การแยกซีรัมน้ำทิ้งทั้งหมดในแต่ละเดือนออกจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและนำไปใช้เป็นปุ๋ยทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อปลูกพืชนั้น สามารถทดแทนพลังงานในการผลิตธาตุอาหารที่มีอยู่ในซีรัมน้ำทิ้งทั้งสิ้น 46,377 กิโลวัตต์-ชั่วโมงสำหรับปุ๋ยไนโตรเจน 2,077 กิโลวัตต์-ชั่วโมง สำหรับปุ๋ยฟอสฟอรัส และ 2,674 กิโลวัตต์-ชั่วโมงสำหรับปุ๋ยโพแทสเซียม

ตามลำดับ อีกทั้งการนำของทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ สามารถช่วยลด ต้นเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

4.3.3 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นเมื่อใช้ เทคโนโลยีรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้ง

การแยกซีรัมน้ำทิ้งออกจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น เป็นอีกทางหนึ่งในการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำทิ้ง เพราะการแยกซีรัมน้ำทิ้งดังกล่าวออกมานั้นจะช่วย ลด BOD load หรือความสกปรกของน้ำทิ้งรวมอย่างน้อย 98% ของ BOD load ทั้งหมดใน น้ำทิ้งรวม (ตารางที่ 4.10) ส่งผลให้ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวมลดลงในตามไปด้วย อาจไม่จำเป็นต้อง ใช้พลังงานไฟฟ้าในการเติมอากาศเพื่อลดค่าบีโอดีของน้ำทิ้งแต่อย่างใด

ตารางที่ 4.10 BOD load ของซีรัมน้ำทิ้ง และน้ำทิ้งรวม

เดือน-ปี	BOD load ของซีรัมน้ำทิ้ง (กก.)	BOD load ของน้ำทิ้งรวม (กก.)
มิ.ย.-53	6,658	6,762
ก.ย.-53	22,339	22,489
ต.ค.-53	12,087	12,205
พ.ย.-53	5,618	5,693
ธ.ค.-53	18,041	18,360
ม.ค.-54	27,672	27,803
ก.พ.-54	23,312	23,453
พ.ค.-54	19,227	19,261
มิ.ย.-54	8,298	8,475
ก.ค. 54	17,058	17,273

ดังนั้นเมื่อการแยกซีรัมน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น น่าจะส่งผลให้ BOD load ของน้ำทิ้งรวมลดลงอย่างน้อย 98% การ ใช้ไฟฟ้าในการเติมอากาศเพื่อลดค่าบีโอดีในน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น ก็น่ามีโอกาสลดลงอย่างน้อย 98% เช่นกัน

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการเลือกใช้สารกันบูดเพื่อเลือกใช้รักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งสามารถสรุปได้ว่า 0.20% ของโพแทสเซียมซอร์เบทมีความเหมาะสมมากที่สุด ทั้งสมบัติทางเคมี (pH และ EC) ที่ไม่เป็นปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืชหากนำไปใช้เป็นปุ๋ย ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ในซีรุ่มน้ำทิ้งที่ยังคงรักษาไว้ได้โดยเฉพาะโพแทสเซียม สามารถใช้เป็นแหล่งโพแทสเซียมสำหรับพืชทดแทนการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมได้เป็นอย่างดี โดยธาตุอาหารหลักชนิดนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจให้แก่พืช มีผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดี รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการทำงานของเอนไซม์ เช่น เร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์โปรตีนและเพิ่มคุณภาพโปรตีนให้กับพืช อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการสร้างผนังเซลล์ ทำให้พืชต้านทานโรคดีขึ้น และช่วยเพิ่มเซลล์ที่เก็บสำรองอาหารที่สังเคราะห์ (แป้งและน้ำตาล) ในเมล็ดธัญพืช (Armstrong, D. L, 1998) นอกจากนี้ ยังสามารถรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งดังกล่าวได้ภายในระยะเวลา 30 วัน

ประกอบกับพิจารณาพร้อมกับค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้โพแทสเซียมซอร์เบทเป็นสารกันบูด พบว่าค่าใช้จ่ายในการลงทุนสำหรับการเลือกโพแทสเซียมซอร์เบทที่ระดับความเข้มข้น 0.30% (707,400 บาทต่อเดือน) มากกว่าการใช้ 0.20% ของโพแทสเซียมซอร์เบท (471,600 บาทต่อเดือน) ประมาณ 1 เท่า ขณะที่ทั้งสมบัติทางเคมี (pH และ EC) ปริมาณธาตุอาหาร ระยะเวลาในการรักษาสภาพของซีรุ่มน้ำทิ้งนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในทางปฏิบัติโพแทสเซียมซอร์เบท 0.20% ของโพแทสเซียมซอร์เบทมีความเหมาะสมมากที่สุดในการเลือกใช้เป็นสารกันบูดเพื่อรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้ง ซึ่งการรักษาสภาพซีรุ่มน้ำทิ้งทั้งหมดเฉลี่ยต่อเดือน 1.31×10^6 ลิตร ต้องใช้โพแทสเซียมซอร์เบททั้งหมด 2,620 กิโลกรัม คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับสารกันบูดดังกล่าวประมาณเดือนละ 471,600 บาทต่อเดือน (ราคาของโพแทสเซียมซอร์เบทที่ขายตามท้องตลาดราคากิโลกรัมละ 180 บาท) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายสำหรับการบำบัดน้ำทิ้งโดยที่ไม่มีการจัดการกับซีรุ่มน้ำทิ้งเหล่านั้นที่มากถึง 61,974- 63,701 บาทต่อเดือน (52,018 กิโลวัตต์-ชั่วโมง) โดยราคาพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 1.1914-1.2246 บาทในช่วง off peak (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2554) แต่หากไม่มีการบริหารจัดการในการเดินระบบบำบัดน้ำทิ้งที่ดี โดยทำการบำบัดน้ำทิ้งในช่วงเวลา on peak (วันจันทร์-วันเสาร์ เวลา 09.00-22.00 น.) จะต้องเสียค่าใช้จ่ายต่อหน่วยถึง 2.6950 – 2.8408 บาท (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2554) คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 140,187– 147,771 บาทต่อเดือน จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมากกว่าการเดินระบบบำบัดในช่วง off peak

อย่างไรก็ตามโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัยแห่งนี้ จะระบายน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วเข้าสู่พื้นที่สวนปาล์มน้ำมันบริเวณโดยรอบโรงงาน เพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับปาล์มน้ำมัน ค่าบีโอดีจึงสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) กล่าวได้ว่าในทางปฏิบัติของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นโดยทั่วไป พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดค่าบีโอดีให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งต้องมีมากกว่าในกรณีศึกษาเช่นเดียวกับค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายไปต่อเดือน

ถึงแม้ว่าการลงทุนเพื่อนำโพแทสเซียมที่ความเข้มข้นดังกล่าวมาใช้รักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งจะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าค่าไฟฟ้าที่ลดลงไปหลังจากแยกซีรัมน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงาน แต่เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดของปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้จากซีรัมน้ำทิ้งภายหลังการเติม 0.20% ของโพแทสเซียมซอร์เบท คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม พบว่า ให้ปริมาณไนโตรเจน 2,418.26 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 949.06 กิโลกรัม และโพแทสเซียม 2062.82 กิโลกรัมต่อเดือน โดยแม่ปุ๋ยไนโตรเจนมีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 15,448 บาทต่อตัน (500 เหยี่ยวสหรัฐ/ตัน) แม่ปุ๋ยฟอสเฟตมีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 26,570 บาทต่อตัน (860 เหยี่ยวสหรัฐ/ตัน) และแม่ปุ๋ยโพแทสเซียมมีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 17,548 บาทต่อตัน (568 เหยี่ยวสหรัฐ/ตัน) อีกทั้งยังพบว่าซีรัมน้ำทิ้งยังมีธาตุแมกนีเซียม (Mg) ที่เป็นธาตุอาหารรองของพืชเป็นองค์ประกอบอีกประมาณ 47.82 กิโลกรัม ราคาตันละ 19,000 บาท โดยธาตุอาหารชนิดนี้เป็นธาตุที่ปาล์มน้ำมันพืชเศรษฐกิจของภาคใต้ ต้องการเป็นอย่างมาก เทียบได้กับการลดค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศมาใช้ทั้งสิ้น 99,681 บาทต่อเดือน และในปัจจุบันพื้นที่การปลูกยางพาราในประเทศไทยมีการขยายตัวไปสู่ภูมิภาคอื่นๆ มากขึ้น และแน่นอนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นย่อมเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน หากทุกโรงงานมีแนวทางในการจัดการกับซีรัมน้ำทิ้งโดยอาศัยเทคโนโลยีการใช้สารกันบูดเพื่อรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช อาจไม่มีความจำเป็นที่ต้องสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งกว่า 10,000,000 บาทในกรณีโรงงานขนาดกลาง (อนุชิต จิโรจน์โชติชัย, สัมภาษณ์, 5 กันยายน 2554) ขึ้นในโรงงานอีกด้วย และเทียบไม่ได้เลยกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพของประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงก็ตาม หากมีโรงงานใดที่ปล่อยน้ำทิ้งที่มีบีโอดีสูงเหล่านั้นลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยไม่ผ่านกระบวนการจัดการที่ดี เพราะทำยที่สุดแล้วมลพิษที่เกิดขึ้น ย่อมส่งผลกระทบต่อวงจรชีวิตของมนุษย์ไม่ว่าทางใดก็ทางหนึ่งอย่างแน่นอน

กล่าวได้ว่าการแยกซีรัมน้ำทิ้งซึ่งเป็นของทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตรออกมาใช้ประโยชน์ โดยอาศัยเทคโนโลยีรักษาสภาพด้วย 0.20% ของโพแทสเซียมซอร์เบทนี้ แม้มองผิวเผิน

อาจเป็นการสิ้นเปลือง แท้ที่จริงแล้วนับว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบริหารจัดการการใช้พลังงาน ภายในโรงงานและเป็นมิตรสิ่งแวดล้อมเพื่อนำมาต่ออย่างแท้จริง

4.4 การเกิดแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

อย่างที่ได้อธิบายมากระบวนการผลิตน้ำยางข้นนั้น เป็นกระบวนการผลิตที่ต่อเนื่อง หลังจากน้ำยางสดผ่านเข้าสู่ขั้นตอนของการปั่นแยกให้กลายเป็นน้ำยางข้นแล้ว ส่วนที่เหลือคือ หางน้ำยางจะเข้าสู่กระบวนการสกิมโดยตกตะกอนเนื้อเยื่อที่เหลืออกอยู่อีก 5% กลับมาด้วย กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ซึ่งน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ ซีรัมน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีสูงถึง 12,693 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบในปริมาณมาก เมื่อจุลินทรีย์จะทำการ ย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน จะทำให้เกิดแก๊สมีเทน (CH_4) ออกมาเป็น ผลพลอยได้ (US EPA, 2010) ซึ่งเป็นหนึ่งในแก๊สเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศของโลก (Climate Change) ซึ่งมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Global Warming Potential: GWP) 24 เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ และเมื่อพิจารณาจาก กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (ภาพที่ 2.8) มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เช่นกัน จากสารละลายแอมโมเนียที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางสดซึ่งเป็นต้นกำเนิดของไนโตรเจน แต่โอกาสที่ แอมโมเนียจะกลายเป็นไนตรัสออกไซด์จะน้อยมาก เพราะแหล่งของไนตรัสออกไซด์มักเกิดจาก ภาคเกษตรกรรม เช่น การใช้ปุ๋ย การพรวนดิน มูลสัตว์ที่ย่อยสลาย ส่วนก๊าซไนตรัสออกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากฝีมือมนุษย์จะเกิดจากการสังเคราะห์เท่านั้น เช่น อุตสาหกรรมที่ใช้กรดไนตริก ในกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยในลอน อุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น

4.4.1 ปริมาณแก๊สไนตรัสออกไซด์ที่เกิดจากซีรัมน้ำทิ้ง

แก๊สไนตรัสออกไซด์ไม่ถูกตรวจพบทั้งในขณะที่มีกระบวนการสกิมและไม่มี กระบวนการสกิมบริเวณบ่อพักซีรัมน้ำทิ้ง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโดยทั่วไปแก๊สเรือนกระจกชนิดนี้ มักจะเกิดจากภาคเกษตรกรรม เช่น การใช้ปุ๋ย การพรวนดิน มูลสัตว์ที่ย่อยสลาย และการ สังเคราะห์จากแอมโมเนียมไนเตรทเท่านั้น โดยต้องให้ความร้อนอย่างระมัดระวัง ไม่สามารถเกิด ในสภาวะทั่วไปได้

4.4.2 ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดจากซีรัมน้ำทิ้ง

การเกิดแก๊สมีเทนในซีรัมน้ำทิ้งขณะที่มีกระบวนการสกิม และไม่มีกระบวนการ สกิมบริเวณบ่อพักซีรัมน้ำทิ้ง (ตารางที่ 4.11) พบว่าขณะที่มีกระบวนการสกิมอัตราการเกิดแก๊ส

มีเทนของซีรัมน้ำทิ้งบริเวณบ่อพักซีรัมน้ำทิ้งสูงกว่าช่วงเวลาที่ไม่มีการบวกรสกิมหรือไม่มีซีรัมน้ำทิ้งเข้าสู่บ่อพักซีรัมน้ำทิ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F value = 7.33*) จึงอาจกล่าวได้ว่าซีรัมน้ำทิ้งที่เกิดจากการบวกรสกิมเป็นแหล่งผลิตแก๊สมีเทนในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

ตารางที่ 4.11 อัตราการเกิดแก๊สมีเทนจากซีรัมน้ำทิ้งในช่วงเวลาที่มีกระบวนการสกิมและไม่มีกระบวนการสกิม

ช่วงเวลา	อัตราการเกิดแก๊สมีเทน (มก./ล)
ขณะเกิดกระบวนการสกิม	4.76 ^a
ไม่มีกระบวนการสกิม	2.29 ^b
F-value	7.33*

หมายเหตุ: ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้ง หมายความว่า มีความแตกต่างกันตามลำดับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT
* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95

ดังนั้นการแยกซีรัมน้ำทิ้งออกจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและนำไปใช้ประโยชน์ในแง่ของปุ๋ย เป็นอีกทางหนึ่งของการลดการเกิดแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น โดยจะกักเก็บแก๊สมีเทนเหล่านั้นในดินได้ถึง 4.76 มิลลิกรัมต่อลิตรแทนที่จะถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเกิดแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยเทคโนโลยีการรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้ง สรุปได้ดังนี้

1. ซีรัมน้ำทิ้งจากกระบวนการสกิมของโรงงานผลิตน้ำยางข้นของโรงงานอินเตอร์รับเบอร์ ลาเท็กซ์ จำกัด มีค่าบีโอดีเท่ากับ 12,693 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวมของโรงงาน คือ 3,750 – 10,583 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่งบอกให้ทราบว่า การแยกซีรัมน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานทั้งหมด มีผลให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเติมอากาศสำหรับลดค่าบีโอดีของน้ำทิ้งได้ทั้งสิ้น 30,636 - 65,543 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน หรือกล่าวได้อีกทางหนึ่งว่า การแยกซีรัมน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้นแห่งนี้ ปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร มีผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดน้ำทิ้งลดลง 23.49 – 42.55 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ทั้งนี้ยังมีแนวโน้มที่จะไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำทิ้งแต่อย่างใดหากมีการจัดการซีรัมน้ำทิ้งดังกล่าว

สำหรับโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัยแห่งนี้ น้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดจะระบายเข้าสู่พื้นที่สวนปาล์มน้ำมันบริเวณโดยรอบโรงงาน เพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับปาล์มน้ำมัน ค่าบีโอดีจึงสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) นั้นหมายถึงในทางปฏิบัติของโรงงานผลิตน้ำยางข้นโดยทั่วไป พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดค่าบีโอดีให้เป็นที่ไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งต้องมีมากกว่าในกรณีศึกษา

2. การเติมโซเดียมเบนโซเอท โพแทสเซียมซอร์เบท และกรดฟอร์มิกเพื่อรักษาสภาพซีรัมน้ำทิ้งนั้น มีผลต่อความค่าความเป็นกรดต่างของซีรัมน้ำทิ้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 4.70 – 8.27 การเติมโซเดียมเบนโซเอทและโพแทสเซียมซอร์เบทลงในซีรัมน้ำทิ้งมีผลให้ซีรัมน้ำทิ้งมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 6.53 - 8.27 ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืชหากนำไปใช้เติมลงดิน เพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช ขณะที่การเติมสารกันบูดทั้ง 3 ชนิดทุกระดับความเข้มข้น (โซเดียมเบนโซเอท

โพแทสเซียมซอร์เบท และกรดฟอรั่มิก) ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการนำไฟฟ้าของซีรุ่มน้ำทิ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $11.70 - 12.55 \text{ dSm}^{-1}$

นอกจากนี้การเติมโซเดียมเบนโซเอท โพแทสเซียมซอร์เบท และกรดฟอรั่มิกทุกระดับความเข้มข้น ยังคงรักษาธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ในซีรุ่มน้ำทิ้ง และพบว่า การเติมโพแทสเซียมซอร์เบทมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในซีรุ่มน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับสารกันบูดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้รักษาคุณภาพซีรุ่มน้ำทิ้งในทางปฏิบัติคือ โพแทสเซียมซอร์เบทที่ระดับความเข้มข้น 0.20% เนื่องจากรักษาคุณภาพซีรุ่มน้ำทิ้งได้ยาวนานถึง 30 วัน และเมื่อพิจารณาาร่วมกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน พบว่า หากเลือกใช้โพแทสเซียมซอร์เบทที่ระดับความเข้มข้น 0.30% จะต้องเสียค่าใช้จ่ายต่อเดือนสูงกว่าการเลือกใช้มากกว่า 0.20% ของโพแทสเซียมซอร์เบทถึง 200,000 บาท โดยที่สมบัติทางเคมี ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน

3. หากมีการแยกซีรุ่มน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นใต้ทั้งหมดและนำไปใช้เป็นปุ๋ยทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีโดยผ่านเทคโนโลยีการรักษาคุณภาพด้วยสารกันบูดดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะสามารถทดแทนพลังงานในการผลิตธาตุอาหารหลักเทียบเท่าที่มีอยู่ในซีรุ่มน้ำทิ้งทั้งสิ้น 46,377 กิโลวัตต์-ชั่วโมงสำหรับปุ๋ยไนโตรเจน (N) 2,077 กิโลวัตต์-ชั่วโมง สำหรับปุ๋ยฟอสฟอรัส (P) และ 2,674 กิโลวัตต์-ชั่วโมงสำหรับปุ๋ยโพแทสเซียม (K) นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดการนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศที่นับวันยังมีราคาสูงขึ้นทุกๆ วัน

ทั้งนี้ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอีกด้วย เนื่องจากการแยกซีรุ่มน้ำทิ้งดังกล่าวออกมานั้นจะช่วยลด BOD load หรือความสกปรกของน้ำทิ้งรวมได้มากกว่าร้อยละ 98 ของ BOD load ทั้งหมดในน้ำทิ้งรวม ส่งผลให้ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งรวมลดลงในตามไปด้วย อาจไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการเติมอากาศเพื่อลดค่าบีโอดีของน้ำทิ้งแต่อย่างใด

4. ขณะที่มีการระบวนการสกิมเกิดขึ้นอัตราการเกิดแก๊สมีเทนของซีรุ่มน้ำทิ้งบริเวณบ่อพักซีรุ่มน้ำทิ้งสูงกว่าช่วงเวลาที่ไม่มีการระบวนการสกิมหรือไม่มีซีรุ่มน้ำทิ้งเข้าสู่บ่อพักซีรุ่มน้ำทิ้ง โดยขณะที่มีการระบวนการสกิมมีแก๊สมีเทนเกิดขึ้น 4.76 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ช่วงเวลาที่ไม่มีการระบวนการสกิมเกิดแก๊สมีเทนเพียง 2.93 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น ดังนั้นการแยกซีรุ่มน้ำทิ้งออกจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นและนำไปใช้ประโยชน์ในแง่ของปุ๋ย เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการลด

การเกิดแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น โดยจะกักเก็บแก๊สมีเทนเหล่านั้นในดินได้ถึง 4.76 มิลลิกรัมต่อลิตรแทนที่จะถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ชีรมน้ำทิ้งเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืชชนิดต่างๆ ในบางกรณีจำเป็นต้องใช้ร่วมกับปุ๋ยหรือวัสดุชนิดอื่นๆ ในสัดส่วนที่เหมาะสมกับความต้องการของพืชแต่ละชนิด รวมทั้งต้องสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินด้วย การศึกษาวิจัยถึงความเหมาะสมกับดินพืชก่อนใช้ประโยชน์จึงมีความจำเป็น

2. ควรศึกษาวิจัยอัตราการเติมและระยะเวลาที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาชีรมน้ำทิ้งด้วยสารกันบูด หรือการทำให้ชีรมน้ำทิ้งมีความเข้มข้นมากขึ้น (Preconcentration) เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มความสะดวกในการขนส่งชีรมน้ำทิ้ง

3. ควรศึกษาวิจัยศักยภาพการดูดซับธาตุอาหารของพืชจากชีรมน้ำทิ้งที่รักษาสภาพด้วยสารกันบูดเทียบกับปุ๋ยเคมี

4. อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้นมีน้ำทิ้งเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในปริมาณมาก มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปผลิตแก๊สชีวภาพ ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยหาสารตัวเติมที่เหมาะสมเพื่อทดแทนการใช้กรดซัลฟิวริกซึ่งมีผลให้น้ำทิ้งมีปริมาณซัลเฟอร์สูง และมีฤทธิ์กัดกร่อนวัสดุอุปกรณ์

5. ควรศึกษาวิจัยการใช้ประโยชน์จาก biofilm ที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของชีรมน้ำทิ้ง เพื่อเพิ่มคุณค่าและมูลค่าให้กับชีรมน้ำทิ้ง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยา ศรีสุวรรณ. การปรับปรุงระบบน้ำเสียแบบไร้อากาศของโรงงานน้ำยางข้น. รายงานการวิจัย ประจำปี 2540. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2540.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. อัตราค่าใช้ไฟฟ้า [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา:

<http://www.pea.co.th/rates/Rate2011.pdf> [30 กรกฎาคม 2554].

กิตติพงษ์ หลงสะ. สมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นเพื่อการเพาะเลี้ยงคลอโรลลาในระบบกึ่งต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2553.

เกริกชัย ธนวัฑฒ์. การประเมินความต้องการปุ๋ยของปาล์มน้ำมัน. ในเอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร “การผลิตปาล์มน้ำมันตามระบบเกษตรที่ที่เหมาะสม (GAP)” หน้า 25-42. ชัยนาท: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5, 2549.

กรองแก้ว สาครรัตน์. การใช้ชีวมวลจากน้ำยางพาราเป็นปุ๋ยในการปลูกข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, สำนักงาน. พลังงานและทางเลือกการใช้เชื้อเพลิง ของประเทศไทย. กระทรวงพลังงาน, 2542.

คณะกรรมการอาหารและยา, สำนักงาน. ข้อมูลด้านความปลอดภัยของอาหาร [ออนไลน์]. 2545. แหล่งที่มา: http://webdb.dmsc.moph.go.th/lfc_food/a_fd_1_00t.asp?info_id=69 [17 เมษายน 2555].

คณาจารย์ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. สารกันเสียในเครื่องสำอาง [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: <http://www.pham.su.ac.th/cheminlife/cms/index.php/about-the-beauty/165-preservative.html> [17 เมษายน 2555].

ควบคุมมลพิษ, กรม. แนวปฏิบัติที่ดีด้านป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมยางน้ำข้น. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม, 2548.

งานนโยบายและแผนพลังงาน, สำนักงาน. สถานการณ์พลังงานปี ๒๕๕๔ และแนวโน้มปี ๒๕๕๕. กระทรวงพลังงาน, 2554

จรรยา อินทมณี. 2540. การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นโดยวิธีย่อยสลายแบบไร้อากาศ. รายงานการวิจัยประจำปี 2540. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์. 2548. การพัฒนายางสกิมและสารที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจจากของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมน้ำยางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2548):138-142.
- นฤมล ทิมทอง. ผลของซีรัมน้ำยางพาราต่อการเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- พลังงาน, กระทรวง. รายงานประจำปี 2553 [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.energy.go.th/?q=th/annual_report [17 เมษายน 2555].
- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. ข้อมูลพลังงาน. กระทรวงพลังงาน, 2010.
- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยาง. กระทรวงพลังงาน, 2550.
- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. รายงานการใช้พลังงานของประเทศไทย ปี 2549. กระทรวงพลังงาน, 2549.
- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. สถิติพลังงานของประเทศไทย 2554. กระทรวงพลังงาน, 2554.
- มนต์นิญา วัชรเวชศฤงคาร และแพรวไหม อ่างเงิน. Lactic acid bacteria [ออนไลน์]. 2010. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/foodclass/uploads/content/4689db526fdd82ce105bc55ace77b4d1.pdf> [17 เมษายน 2555].
- เยาวภา สุวัตติ. การถนอมอาหาร. R&D Newsletter. (ตุลาคม - ธันวาคม 2547): 7-11.
- รพีพรรณ วิทิตสุวรรณกุล. ประโยชน์สารสกัดจากน้ำยางพาราต่อเศรษฐกิจไทย [ออนไลน์]. 2011. แหล่งที่มา: <http://www.boifair2011.com/resources/uploaded/th/events/seminar/S-135-S.pdf>. [13 เมษายน 2555].
- รุจิรัตน์ ภารศิลป์. การบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมยางด้วยวิธีทางเคมีและการประยุกต์ใช้ในการเพาะเห็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- เวณิกา เบ็ญจพงษ์. อันตรายจากสารกันบูด. วารสารอาหาร 25 (2538): 8-14.
- สมพร แซ่ลี. การศึกษาวิเคราะห์และทดสอบปฏิกิริยาชีวภาพที่มีจำหน่ายในท้องตลาด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547.
- สถาบันวิจัยยาง. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2553. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2553.

สมาคมยางพาราไทย. สถิติยาง [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://www.thainr.com> [10 กรกฎาคม 2554].
 สารสนเทศการค้าในประเทศ, สำนัก. ปู่เคมีหนึ่งในปัจจัยต้นทุนราคาสินค้าการเกษตร. อุตสาหกรรมการค้าภายใน. 40 (เมษายน 2551): 2-3.

สุริวัตร์ แก้วสามดวง. การหาสมการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางขึ้นด้วยระบบตะกอนเร่ง.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552.

อนุชิต จิโรจน์โชติชัย. กรรมกรผู้จัดการบริษัทอินเตอร์รับเบอร์สแก็ทท์จำกัด. สัมภาษณ์, 5 กันยายน 2554.

อรุณี ยูวะนิยม. เอกสารวิชาการเรื่องการจัดการแก้ไขปัญหาดินเค็ม. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547.

อรุณี ยูวะนิยมและสมศรี อรุณินท์. เอกสารการวิจัยพืชทนเค็มและพืชชอบเกลือบางชนิดในดินเค็มจัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2540.

ภาษาอังกฤษ

Abraham, V.T., Nair, N. R. and Madhuc, G.. 2009. Electrochemical treatment of skim serum effluent from natural rubber latex centrifuging units. Journal of Hazardous Materials. 167(2009):494–499.

Armstrong, D. L. (ed.). Functions of Potassium in Plants, Better Crops with Plant food. pp 4-8. Georgia:Potash & Phosphate Institute, 1998.

Barbosa-Cánovas, G. V., Fernández-Molina, J.J., Alzamora, M. S., Tapia, M. S. López-Malo, A. and Chanes, J. W.. Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas. Rome: FAO Agricultural Services, 2003.

Danteravaich, S., Arrykul, S., Bunnual, P. and Prabnakorn, P.. 2009. Primary treatment by air flotation in rubber trap of concentrated latex industry. In S. Takizawa, F. Kurisu and H. Satoh (eds.), Southeast Asian Water Environment 3. pp.198 – 201. United Kingdom: Page Bros Ltd, 2009.

European Fertilizer Manufacturers Association. Harvesting Energy with Fertilizers. Energy efficiency is further increased in the nitrogen fertilizer chain. Belgium, 2012.

- Food Network Solution Co., Ltd. 2010. การเสื่อมเสียของอาหาร (Food spoilage) [online]. Available from: <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/wordcap/food%20spoilage> [2012 April 12].
- Gellings, C.W. and Parmenter, K. E., Energy Efficiency in Fertilizer Production and Use. in Efficient Use and Conservation of Energy. Oxford: Eolss Publishers, 2004.
- Jensen, T.. 2010. Soil pH and The Availability of Plant Nutrients Soil. Plant Nutrition Today (Fall 2010): No.2.
- Karakurt, I., Aydin, G. and Aydiner, K.. 2012. Sources and mitigation of methane emissions by sectors: A critical review. International Journal of Renewable Energy 39 (2012): 40-48.
- Kongshaug, G.. Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production. IFA Technical Conference. Morocco,1998.
- Ng Chiew Sum, Chen, S.F. and Ibrahim Ahmad. PRIM Training Manual an Analytical Chemistry Latex and Rubber Analysis. pp 201. Rubb. Res. Ins. Of Malaysia, 1979.
- Setter, T.L., Kupkanchanakul, T., Kupkanchandkul, K., Bhekasut, P.,Wiengweera, A. and Greenway, H.. Environmental factors in deepwater rice areas in Thailand: oxygen, carbon dioxide, and ethylene. Proceedings of the 1987 International Deepwater rice workshop. pp. 55-66. International Rice Research Institute, 1988.
- Sharifuddin, H. A. H and Zaharah, A.R.. 2009. Utilization of Organic Waste and Natural Systems in Malaysian Agriclture. Malaysia: University of Agriculture.
- Sustainable Development Through Appropriate Technologies. 2011. Anaerobic Digestion [online]. Available from: <http://www.ted-biogas.org/index.php?id=3> [20112 April 12].

- Thongmak ,N., Sridang, P., Dantheravanich, S., Thaveepreeda, W., Wanichapichart P. and Annop, S..2009. Filterability of latex serum and skim latex using lab scale plane organic membrane filtration: application to recovery value compound and to concentrate latex particle. International Conference on Membrane Science and Technology (MST2009).
- U.N. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Causes of Change. Climate Change 2007: Synthesis Report. pp.5.
- U.N. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Radiative Forcing of Climate Change. Third assessment report. pp. 388.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Emission Estimates. Technical support document for industrial wastewater treatment: final rule for mandatory reporting of greenhouse gases. pp. 3-2.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Methane Generation. Technical support document for industrial wastewater treatment: final rule for mandatory reporting of greenhouse gases. pp. 4-1.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2011. Sources of CO₂ Emissions. Inventory of U.S. Green House Gas Emission and Sinks: 1990-2009. pp. ES-22.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก



รูปที่ ผ-1 การดำเนินการวิจัยในภาคสนาม (การเก็บตัวอย่างซีรัมน้ำทิ้ง)

ภาคผนวก ข

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539

เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม
และนิคมอุตสาหกรรม

ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

ตารางที่ ผ-1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด และด่าง (pH)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS: Total Dissolved Solids)	ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรมที่คณะกรรมการควบคุม มลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 -105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (SS: Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำ การเก็บตัวอย่างน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับ น้ำ ทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการ ควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยก หรือน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบ ฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกัน หรือกำจัดศัตรูพืชหรือ สัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่ กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (BOD: Biochemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกัน แต่ ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN: Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการ ควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl
15. ค่าซีโอดี (COD :Chemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการ ควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal)		
1) สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
2) โครเมียมชนิดเฮก ซาวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct
3) โครเมียมชนิดไตร วาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด
4) ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	Inductively Coupled Plasma :
5) แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล	ICP
6) แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล	
7) ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8) นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9) แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
10) อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
11) ซีเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	Atomic Absorption Cold Vapour Technique
12)ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)
เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท
โรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 ตีพิมพ์ใน
ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

ภาคผนวก ค

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในจำนวนธาตุอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้เพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งมีอยู่ 16 ธาตุนั้นมี 3 ธาตุ ที่พืชได้มาจากอากาศและน้ำ คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ส่วนอีก 13 ธาตุ นั้น พืชต้องดูดขึ้นมาจากดิน ซึ่งธาตุเหล่านี้ได้มาจากการผุพังสลายตัวของส่วนที่เป็นอนินทรีย์วัตถุและอินทรีย์วัตถุหรือฮิวมัสในดิน สามารถแบ่งตามปริมาณที่พืชต้องการ

1. มหาธาตุ (macronutrients)

มหาธาตุหรือธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก ที่ได้มาจากดินมีอยู่ 6 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1.1 ธาตุอาหารหลัก หรือ ธาตุปุ๋ย ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) เนื่องจากสามธาตุนี้พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก แต่มักจะได้รับจากดินไม่เพียงพอกับความ ต้องการ ต้องเสริมโดยใส่ปุ๋ยอยู่เสมอ

1.2 ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) เป็นกลุ่มที่พืชต้องการใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า และมีเพียงพอกับความ ต้องการของพืช

2. จุลธาตุ หรือ ธาตุอาหารเสริม (micronutrients)

จุลธาตุหรือธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อย มีอยู่ 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และคลอรีน (Cl)

หน้าที่ของธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืชแต่ละชนิดมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกันไป และหากพืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการ ก็จะแสดงอาการที่แตกต่างกันตามแต่ ชนิดของธาตุอาหารที่ขาดแคลนนั่น

1. **ไนโตรเจน** มีหน้าที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีน ช่วยให้พืชมีสีเขียว เร่งการเจริญเติบโตทางใบ หากพืชขาดธาตุนี้จะแสดงอาการใบเหลือง ใบมีขนาดเล็กลง ลำต้นแคระแกร็น และให้ผลผลิตต่ำ

2. **ฟอสฟอรัส** มีหน้าที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของราก ควบคุมการออกดอก ออกผล และการสร้างเมล็ด ถ้าพืชขาดธาตุนี้ระบบรากจะไม่เจริญเติบโต ใบแก่จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแล้วกลายเป็นสีน้ำตาลและหลุดร่วง ลำต้นแกร็นไม่ผลิดอกออกผล

3. **โพแทสเซียม** เป็นธาตุที่ช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปสู่ผล ช่วยให้ผลเติบโตเร็วและมีคุณภาพดี ช่วยให้พืชแข็งแรง ต้านทานต่อโรคและแมลงบางชนิด ถ้าขาดธาตุนี้พืชจะไม่แข็งแรง ลำต้นอ่อนแอ ผลผลิตไม่เติบโต มีคุณภาพต่ำ สีไม่สวย รสชาติไม่ดี

4. **แคลเซียม** เป็นองค์ประกอบที่ช่วยในการแบ่งเซลล์ การผสมเกสร การงอกของเมล็ด พืชขาดธาตุนี้ใบที่เจริญใหม่จะหงิกงอ ตายอดไม่เจริญ อาจมีจุดดำที่เส้นใบ รากสั้น ผลแตก และมีคุณภาพไม่ดี

5. **แมกนีเซียม** เป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ ช่วยสังเคราะห์กรดอะมิโน วิตามิน ไนมัน และน้ำตาล ทำให้สภาพกรดต่างในเซลล์พอเหมาะและช่วยในการงอกของเมล็ด ถ้าขาดธาตุนี้ใบแก่จะเหลือง ยกเว้นเส้นใบ และใบจะร่วงหล่นเร็ว

6. **กำมะถัน** เป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน และวิตามิน ถ้าขาดธาตุนี้ทั้งใบบนและใบล่างจะมีสีเหลืองซีด และต้นอ่อนแอ

7. **โบรอน** ช่วยในการออกดอกและการผสมเกสร มีบทบาทสำคัญในการติดผล และการเคลื่อนย้ายน้ำตาลมาสู่ผล การเคลื่อนย้ายของฮอร์โมน การใช้ประโยชน์จากไนโตรเจน และการแบ่งเซลล์ ถ้าพืชขาดธาตุนี้ ตายอดจะตายแล้วเริ่มมีตาข้าง แต่ตาข้างก็จะตายอีก ลำต้นไม่ค่อยยืดตัว กิ่งและใบจึงชิดกัน ใบเล็ก หนา ไค้งและเปราะ

8. **ทองแดง** ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การหายใจ การใช้โปรตีนและแป้ง กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด ถ้าพืชขาดธาตุนี้ ตายอดจะชะงักการเจริญเติบโตและกลายเป็นสีดำ ใบอ่อนเหลือง และพืชทั้งต้นจะชะงักการเจริญเติบโต

9. **คลอรีน** มีบทบาททางประการเกี่ยวกับฮอร์โมนในพืช ถ้าขาดธาตุนี้พืชจะเหี่ยวง่าย ใบสีซีด และบางส่วนแห้งตาย

10. **เหล็ก** ช่วยในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสงและหายใจ ถ้าขาดธาตุนี้ใบอ่อนจะมีสีขาวซีดในขณะที่ใบแก่ยังเขียวสด

11. **แมงกานีส** ช่วยในการสังเคราะห์แสงและการทำงานของเอนไซม์บางชนิด ถ้าขาดธาตุนี้ใบอ่อนจะมีสีเหลืองในขณะที่เส้นใบยังเขียว ต่อมาใบที่มีอาการดังกล่าวจะเหี่ยวแล้วร่วงหล่น

12. **โมลิบดีนัม** ช่วยให้พืชใช้ไนโตรเจนให้เป็นประโยชน์และเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน ถ้าขาดธาตุนี้พืชจะมีอาการคล้ายขาดไนโตรเจน ใบมีลักษณะไค้งคล้ายถ้วย ปรากฏจุดเหลืองๆ ตามแผ่นใบ

13. สังกะสี ช่วยในการสังเคราะห์ฮอร์โมนออกซิน คลอโรฟิลล์ และแป้ง ถ้าขาดธาตุนี้ใบอ่อนจะมีสีเหลืองซีดและปรากฏสีเขียวๆ ประปรายตามแผ่นใบ โดยเส้นใบยังเขียว รากสั้น ไม่เจริญตามปกติ

เมื่อมีการปลูกพืชลงบนดิน ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในดิน เนื่องจากในขณะที่พืชมีการเจริญเติบโต พืชจะดูดดึงธาตุอาหารในดินไปใช้และเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ได้แก่ ใบ ลำต้น ดอก ผล จนถึงเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตและนำออกไปจากพื้นที่ธาตุอาหารที่สะสมอยู่เหล่านั้นย่อมถูกนำออกไปจากพื้นที่ด้วย นอกจากนี้ธาตุอาหารบางส่วนยังเกิดการสูญหายไปในรูปแบบก๊าซ ถูกดินหรือสารประกอบในดินจับยึดไว้ บางส่วนถูกชะล้างออกไปจากบริเวณรากพืช หรือสูญเสียไปกับการชะล้างพังทลายของดิน

ดังนั้นการเพาะปลูกพืชติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนาน โดยไม่มีการเติมธาตุอาหารลงไป ในดิน ย่อมทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง และในที่สุดดินจะกลายเป็นดินที่ไม่สามารถปลูกพืชให้เจริญเติบโตอีกต่อไป ในการปลูกพืชจึงต้องมีการใส่ปุ๋ยเพื่อบำรุงดิน ช่วยเพิ่มธาตุอาหารพืชและคงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้อยู่เสมอ

แหล่งที่มา : ปฐพีวิทยาเบื้องต้น โดย คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา ปี พ.ศ 2541

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว เจนจิรา ภูริรักษ์พิติกร เกิดเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลชุมพร จังหวัดชุมพร ในปี พ.ศ. 2542 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนสะอาดเผดิมวิทยา จังหวัดชุมพร ในปี พ.ศ. 2545 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา จังหวัดกรุงเทพ ในปี พ.ศ. 2548 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2551

ในปีการศึกษา 2553 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปี พ.ศ. 2554 จนถึงปัจจุบันได้เข้าทำงานที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ กลุ่มงานเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม